

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Kristýna Kosová**

Posuzování životního cyklu skládkování odpadu  
Life cycle assessment of landfilling

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Kočí, Ph.D.

Praha, 2017

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Dále prohlašuji, že předložená tištěná verze diplomové práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze, dne

Podpis:

**Poděkování:**

Děkuji především svému školiteli doc. Ing. Vladimíru Kočímu, Ph.D., za odborné vedení práce, cenné rady, připomínky a trpělivost. Dále děkuji provozovatelům skládek za poskytnutá data a spolupráci. A v neposlední řadě také Mgr. Markétě Šerešové za ochotu a odborné rady.

## **Abstrakt**

Tato práce je zaměřena na použití metody posuzování životního cyklu (LCA) pro oblast odpadového hospodářství v České republice. Cílem práce bylo namodelování procesu skládkování odpadů a vyhodnocení hlavních materiálových, energetických a elementárních toků majících vliv na životní prostředí. Výstupem je přehled jednotlivých indikátorů kategorií dopadu a zhodnocení, které oblasti životního prostředí jsou skládkováním nejvíce zasaženy a kde by bylo vhodné přistoupit k optimalizaci. Práce se skládá ze dvou částí, teoretické a experimentální. Teoretická část pojednává obecně o metodě LCA, skládkování a komunálních odpadech, jejich produkci a možnostech dalšího nakládání s nimi. V experimentální části je zhodnocen a srovnáván vliv 1 tuny sládkovaného odpadu za 1 kalendářní rok na několika českých skládkách, vytvořen průměrný model skládky a jeho srovnání s databázovými modely.

## **Klíčová slova**

Skládkování, posuzování životního cyklu, odpadové hospodářství, komunální odpad

## **Abstract**

This thesis is focused on the method of Life Cycle Assessment (LCA) in Waste Management in the Czech Republic. The aim of this work is creation of landfill model and evaluate the main material, energy and elementary streams with influence on the environment. The output is an overview of each impact indicator, assessment most affected environmental categories by landfilling, and where is appropriate the optimization. The thesis consists of two parts, theoretical and experimental. The theoretical part deals generally about LCA, landfilling and municipal waste, their production and the possibilities of further handling them. In the experimental part is evaluated and compare the impact of 1 tonne lanfilling waste per 1 calendar year on several Czech landfills. The next was created average landfill model and its comparison with database models.

## **Key words**

Landfill, Life Cycle Assessment, Waste Management, Municipal solid waste

## **Seznam použitých zkratk**

ČR – Česká republika

ČSN – Česká technická norma

EU – Evropská unie

KO – Komunální odpad

LCA – Posouzení životního cyklu

NO – Nebezpečný odpad

OH – Odpadové hospodářství

OO – Ostatní odpad

POH – Plán odpadového hospodářství

S-IO – Skládka inertního odpadu

S-NO – Skládka nebezpečného odpadu

S-OO – Skládka ostatního odpadu

TZS - technické zabezpečení skládek

ŽP – Životní prostředí

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>8</b>
----------------------	----------

## Teoretická část

<b>2. Posuzování životního cyklu – studie LCA .....</b>	<b>9</b>
2.1. Obecně o LCA .....	9
2.2. Produktový systém, procesy a toky .....	9
2.3. Standardizace LCA .....	11
2.4. Fáze analýzy LCA .....	11
2.4.1. Definice cílů a rozsahu .....	12
2.4.2. Inventarizace životního cyklu (LCI).....	13
2.4.3. Hodnocení dopadu životního cyklu (LCIA).....	14
2.4.4. Interpretace životního cyklu.....	20
<b>3. Odpadové hospodářství .....</b>	<b>21</b>
3.1. Právní úprava v ČR.....	21
3.2. Základní pojmy.....	21
3.3. Produkce odpadů v ČR.....	23
3.3.1. Složení komunálních odpadů.....	23
3.3.2. Produkce odpadů .....	23
3.3.3. Srovnání produkce v ČR a zahraničí .....	24
3.4. Nakládání s KO v ČR.....	24
3.4.1. Využití.....	24
3.4.2. Odstranění .....	25
<b>4. Skládkování .....</b>	<b>26</b>
4.1. Právní úpravy, pojmy .....	26
4.2. Proces skládkování .....	27

## Experimentální část

<b>5. Náplň a rozsah práce.....</b>	<b>28</b>
5.1. Skládky 1 - 8.....	29
5.2. Skládka A.....	29
<b>6. Model skládky.....</b>	<b>32</b>
6.1. Definice cílů a rozsahu.....	32
6.1.1. Funkce systému.....	32

6.1.2. Funkční jednotka a referenční tok .....	33
6.1.3. Posuzovaný systém .....	33
6.1.4. Hranice systému .....	34
6.1.5. Zdroje dat .....	34
6.2. Inventarizace životního cyklu (LCI) .....	35
6.2.1. Databáze .....	35
6.2.2. Procesy systému.....	35
6.2.3. Vstupy a výstupy.....	36
6.2.4. Alokace.....	37
6.3. Hodnocení dopadu životního cyklu (LCIA) .....	37
6.3.1. Klasifikace .....	37
6.3.1. Charakterizace a normalizace .....	37
<b>7. Interpretace životního cyklu – shrnutí výsledků a diskuze .....</b>	<b>42</b>
<b>8. Závěr .....</b>	<b>50</b>
<b>Seznam literatury .....</b>	<b>52</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>57</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>58</b>

## 1. Úvod

Skládkování je v České republice stále nejrozšířenějším způsobem nakládání s odpady a také často diskutovaným tématem. Důvodem je především velké množství skládek na našem území, nízké poplatky a nedostatečně vybudovaná infrastruktura a kapacity jiných technických zařízení. Přesto je v ČR plánován zákaz skládkování směsného komunálního odpadu do roku 2024 (ČAOH).

Přestože je rok 2017, stále nejsou patrné žádné významnější snahy soukromého sektoru ani státních orgánů tohoto cíle dosáhnout. Špatná informovanost a nepřipravenost odpadářských firem tak bude působit velké problémy. Jedním z nich je i nedostatečná kapacita jiných zařízení k odstraňování vyprodukovaných odpadů, včetně výše jejich provozních nákladů. Také zdaleka ne všechny odpady můžeme dále využívat, spalovat či jinak upravovat, v tomto případě je jejich „uložení“ na skládku jediné řešení, které známe.

Díky provedené studii je možné srovnat a posoudit skládkování ostatních odpadů s dalšími možnostmi úprav či odstraňování. Diplomová práce posuzuje vliv skládkování především běžně produkovaných (komunálních odpadů) na životní prostředí. V rámci experimentální části bylo porovnáno skládkování 1 t odpadů u 8 m skládek za 1 rok provozu a zároveň srovnání skládkování 1 t odpadů v průběhu 10ti let u jedné skládky. Nakonec byl vytvořen průměrný model skládky, na kterém byly posouzeny a zhodnoceny pozitivní i negativní dopady na životní prostředí.

## Cíle práce

1. Sběr inventarizačních dat a provedení LCA studie skládkování odpadu
2. Namodelování procesu skládkování odpadu a vyhodnocení hlavních materiálových a energetických toků
3. Zhodnocení, které oblasti životního prostředí jsou stavbou nejvíce zasaženy



## **Teoretická část**

### **2. Posuzování životního cyklu - LCA (Life Cycle Assessment)**

#### **2.1. Obecně o LCA**

V dnešní době je kladen stále větší důraz na ochranu životního prostředí. Díky tomu je na veškerou výrobu i služby v našem okolí vyvíjen tlak pro využívání co nejšetrnějších technologií, ať již se jedná o energetickou úsporu nebo materiálové šetření surovin. Jak ale zjistit, který způsob, přístup nebo dokonce výrobek je šetrnější a má tedy nejmenší nežádoucí vliv na naše prostředí i zdraví?

Snahy o posuzování výrobků vzhledem k vlivu na životní prostředí se ve světě objevují již od 60. let 20. století. Zájem o metody posuzování stále stoupal a již v roce 1990 byly poprvé definovány dodnes platné fáze metody LCA. Od té doby metoda začala procházet výrazným rozvojem (Kočí, 2009). Dnes je „Life Cycle Assessment“ neboli zkráceně LCA ve světě hojně využívanou, standardizovanou metodou environmentálního managementu. V češtině tuto metodu nazýváme jako „posuzování životního cyklu“ (Kočí, 2009).

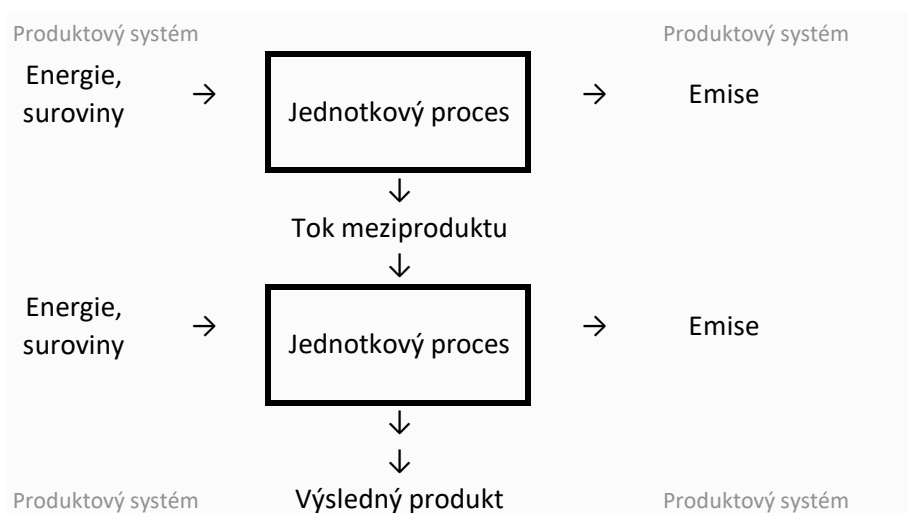
LCA je analytická metoda, umožňující hodnocení environmentálních dopadů výrobků, technologií či služeb s ohledem na celý jejich životní cyklus na okolní prostředí. Jedná se o systematický postup, jež hodnotí dopady produktů od stádia získávání surovin pro výrobu potřebných materiálů, přes samotnou výrobu produktu, jeho přepravu, užívání až po konečné stádium odstranění (Kočí, 2009; Guinée, 2002). Tento komplexní přístup nazýváme „od kolébky do hrobu“. Mimo něj je možné provést i studii pouze v zúženém rozsahu, tzv. „od kolébky k bráně“, kdy hodnotíme pouze vstupní výrobní materiály, jejich zpracování a dokončení výroby výsledného produktu.

Mimo environmentálního hlediska se LCA studie zabývá také technologickým, sociálním i ekonomickým vlivem lidské činnosti na životní prostředí – jedná se tedy o metodu interdisciplinární (Kočí, 2009).

#### **2.2. Produktový systém, procesy a toky**

Každá studie LCA je tvořena z jednotlivých, jednotkových, procesů. Procesy jsou operace, při kterých dochází k přeměně vstupujícího toku (suroviny, energie,...) na výstupní tok (emise, odpadní látky,...). Produkt tak může mít odlišný dopad na životní prostředí jen v důsledku existence jiných procesů v jeho produktovém systému. Všechny tyto procesy, podléjící se na jednotlivých stádiích produktu nazýváme souhrnně jako produktový systém (Kočí a kol., 2012).

Procesy mohou být propojeny buď vzájemně mezi sebou, tzv. toky meziproduktů, s jinými produktovými systémy, tzv. toky produktů nebo s okolním prostředím. Spojení procesů s okolním prostředím je tvořeno tzv. elementárními toky (Kočí, 2009). Každý elementární tok má určitý potenciál dopadu nazývaný charakterizační faktor (Remtová, 2003). Tyto elementární toky, které do systému vstupují, rozlišujeme pak ještě na toky materiálů a energetické toky. Vystupující toky jsou tvořeny emisemi do ovzduší, vod, půd a odpady. (Obr. 1). Hodnoty toků představují výstupy z inventarizační fáze a slouží jako základ pro hodnocení dopadů. (Kočí, 2009; Guinée, 2002).



Obr. 1: Schéma produktového systému, vstupující a vystupující elementární toky do systému.

Metoda LCA tedy posuzuje environmentální dopady jednotlivých procesů posuzovaného životního cyklu produktového systému na okolní prostředí. Můžeme rozlišit dopady materiálových i energetických toků na životní prostředí i dopady na samotného člověka (Remtová, Tichá; 2001).

Environmentální dopady jsou vyjádřeny jako tzv. kategorie dopadu. Kategorii dopadu se míní specifický problém životního prostředí, na jehož zhoršení se podílí lidská činnost v důsledku výměny energií nebo látek s okolním prostředím. Mezi kategorie dopadu patří například globální oteplování, úbytek stratosférického ozonu, eutrofizace apod. Negativní dopad celého životního cyklu je pak souhrn všech negativních vlivů, jimiž zkoumaný produkt působí na prostředí (Kočí, 2009).

Výsledky LCA studií se využívají v celé řadě rozhodovacích procesů. LCA je v současné době mezinárodně uznávanou metodou pro posuzování dopadů výrobků a systémů na životní prostředí (Remtová, Příbylová, 2001). Díky možnosti porovnání jednotlivých procesů i výrobků můžeme pak přistoupit k optimalizaci procesů s nevyššími dopady.

### 2.3. Standardizace LCA

Standardizované technické normy týkající se LCA v ČR:

ČSN EN ISO 14040: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova

ČSN EN ISO 14044: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice

ČSN ISO/TR 14047: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Příklady aplikace 14042

ČSN ISO/TR 14048: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Formát dokumentace údajů

ČSN ISO/TR 14049: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Příklady aplikace ISO/TR pro stanovení cíle a rozsahu inventarizační analýzy

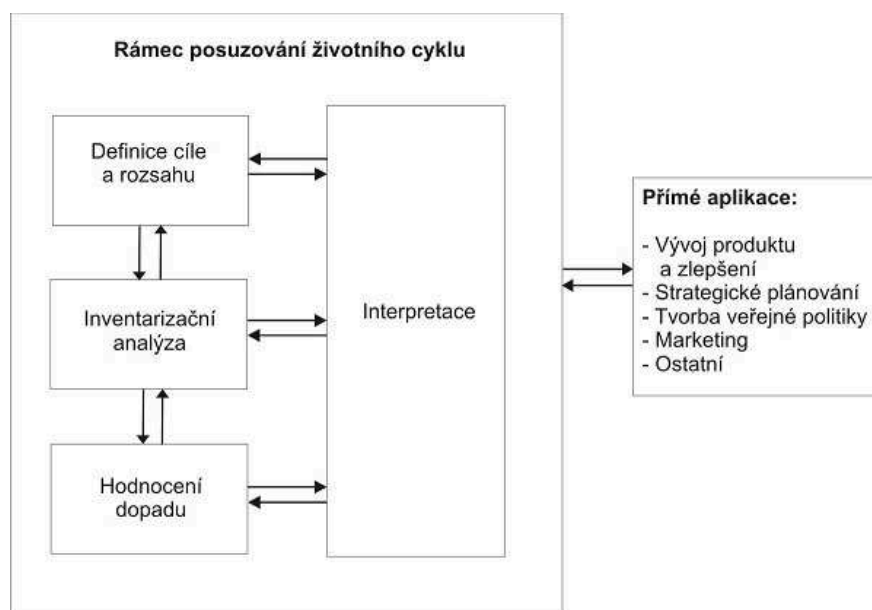
Normy vytvářející společný rámec, který přispívá k možnosti porovnat jednotlivé studie.

### 2.4. Fáze analýzy LCA

Metoda LCA se skládá ze čtyř hlavních fází:

1. Definice cílů a rozsahu
2. Inventarizace životního cyklu (LCI)
3. Hodnocení dopadu životního cyklu (LCIA)
4. Interpretace životního cyklu

Tyto fáze se vzájemně ovlivňují, výsledky jedné fáze mohou ovlivnit východiska předchozí fáze (Kočí, 2009). Viz. Obr. 2.



Obr. 2: Fáze analýzy LCA. Zdroj: MŠMT

### 2.4.1. Definice cílů a rozsahu

Na počátku každé LCA studie je nutné nejprve definovat co, a jakým způsobem bude posuzováno. Definujeme si přesný účel vypracování studie, k čemu a za jakým účelem má být použita a pro koho je případně určena (*Kočí*). Jedná se o přípravu na samotný proces analýzy.

Specifikujeme si náš studovaný produktový systém a určíme jeho klíčovou funkci, tím určíme rozsah celé studie. Produktový systém je definován tzv. funkční jednotkou. Tato jednotka určuje velikost funkce, kterou produktovému systému přisuzujeme, a je definovaná v měřitelných jednotkách. Jako další definujeme referenční tok, ten vyjadřuje množství daného produktu určeného funkční jednotkou (množství produktu potřebné k naplnění funkční jednotky) (*Kočí, 2009; Guinée, 2002*). Dále si stanovujeme hranice systému, popíšeme zdroje dat a způsob nakládání s nimi. Nejedná se však zatím o samotný sběr dat, jejich zpracování ani interpretaci (*Finnveden a kol., 2009*).

#### Funkce produktu

Pro posouzení životního cyklu je nezbytné přesné vymezení využití sledovaného produktu a za jakých okolností tuto funkci plní. Jeden produkt může plnit i více funkcí (*Rebitzer a kol., 2004*)

#### Funkční jednotka

Pro možnost porovnání jednotlivých produktů, systémů či služeb je nutné definovat si tuto funkční jednotku. Je to základ, ke kterému se vztahují všechny vstupy a výstupy modelovaného systému. Vyjadřuje velikost funkce, kterou od posuzovaného produktu očekáváme. Aby jednotka splňovala svoji funkci, musí být měřitelná v konkrétních jednotkách (např. v tunách, litrech,...). Pro všechny posuzované a srovnávané systémy musí být tato jednotka stejná (*Kočí, 2009; Finnveden a kol., 2009*).

#### Referenční tok

Představuje množství produktu, které je potřeba k naplnění funkční jednotky. Funkční jednotka představuje tedy nějaký základ, ke kterému se vztahují veškeré systémové vstupy a výstupy. I referenční tok musí být měřitelný, nejčastěji v litrech, kilogramech nebo kusech.

#### Hranice systému

Hranice systému definuje tak, že si určíme, které jednotkové procesy budou ve studii zahrnuty a které již ne. Jakékoli nezahrnutí procesů však musí být logicky odůvodněno. Touto definicí rozhodneme, jaké jednotkové procesy a elementární toky budou v rámci studie

uvažovány. Hranici systému lze v průběhu studie zvětšit či zmenšit, dle rozsahu práce. Vždy je však nezbytné brát v úvahu, nakolik by změna hranic systému mohla ovlivnit výsledky studie či její kvalitu. (Remtová, Tichá, 2001; Kočí 2009).

V různých geografických celcích mohou být dopady na životní prostředí různé. Tyto hranice proto dále definují i geografický (místní regionální, státní, kontinentální či světový) a časový rozsah studie. Časový rozsah studie je potřeba jednoznačně zvolit a vztáhnout ke zvolené charakteristice produktového systému (životnost výrobku, časový horizont procesů či doba trvání environmentálních dopadů) (Kočí, 2009; Finnveden a kol., 2009).

#### Zdroje dat

Důležité je také specifikovat, jakým způsobem budou data potřebná pro studii získána. Nejlepší je získat potřebná data přímo od výrobce nebo od provozovatele technologie, která je analyzována. Nikdy ale není možné zajistit všechny údaje vlastním monitoringem, proto je doplňují databázové zdroje. Software pro analýzu obsahuje již namodelované komplexní procesy, které lze při studii využít, ať již beze změny nebo upravené. Často se používají již namodelované obecné procesy např. výroba elektrické energie, doprava apod.

Požadavky na data závisí na zvolených hranicích systému. Množství potřebných dat je určeno počtem procesů zahrnutých do produktového systému.

Každá studie LCA má své předpoklady a omezení. Je doporučeno je definovat již v první fázi definice cílů a rozsahu. Pokud tedy existují jistá omezení, je nutné je specifikovat v první fázi LCA. Významnou úlohu v hodnocení kvality studie má také její kritické přezkoumání. Toto přezkoumání kontroluje, jak jsou během tvorby studie naplňovány její cíle. Kritické přezkoumání se zaměřuje zejména na metodologii studie, na použitá data, kalkulace a na kvalitu závěrů (Kočí a kol., 2012).

#### **2.4.2. Inventarizace životního cyklu (LCI)**

Fáze LCI zahrnuje sestavení schématu produktového systému, sběr dat a výpočet ekovektoru produktu. LCI (Life Cycle Inventory) shromažďuje informace všech procesů zapojených do systému. Hlavním cílem je vyčíslení množství elementárních toků uvolněných během životního cyklu produktů do prostředí. Mezi principy inventarizační fáze je sběr dat o jednotkových procesech zařazených do produktového systému, následně je prováděna inventarizace vstupů a výstupů celého systému a okolí. Do fáze LCI patří také modelování produktového systému, to se obvykle provádí pomocí specializovaného softwaru. Nejprve proběhne k identifikaci všech zapojených procesů i jejich vstupů a výstupů. Poté dochází k pospojování procesů pomocí

energetických a materiálových toků do funkčního celku, tak je získáno schéma produktového systému (*Bare, 2000*).

Hlavním krokem inventarizace je vypočtení tzv. ekovektoru produktového systému. Jedná se o vyčíslení množství spotřebovaných surovin a množství do prostředí uvolněných látek ve vztahu k funkční jednotce vyjádřené referenčním tokem posuzovaného produktu.

Ekovektor je souhrnný termín pro veškeré elementární toky jednotlivých procesů. Jedná se o matematický operátor, jehož každý jeden rozměr odpovídá emisi určitého elementárního toku do prostředí či spotřebě určité suroviny (*Kočí, 2012*). Porovnávání ekovektorů dvou odlišných produktů však není pro zjištění environmentálních dopadů dostačující (*ČSN, 2006*).

Výstupy inventarizační fáze jsou inventarizační tabulky, které zobrazují souhrn veškerých elementárních toků vstupujících a vystupujících přes hranice produktového systému do okolního prostředí. Všechny hodnoty musí být vztaženy na funkční jednotku (*Kočí, 2010*).

### Alokace

Z různých průmyslových procesů jen málokdy vystupuje pouze jediný produkt. Alokace je postup, jež nám umožní rozdělit environmentální dopady jednoho procesu mezi dva a více produktů, které z tohoto procesu vystupují nebo naopak, kdy z jednoho zdroje vzniká více produktů, mezi které je potřeba rozdělit náklady na výrobu. Jelikož takového produkty mají stejné vstupní i výstupní toky, alokace nám umožní rozdělit dopady jednoho procesu mezi více vystupujících produktů (*Bare, 2006; Levasseur a kol., 2010*).

Ideální však je se alokaci úplně vyhnout. Možné to je např. rozšířením hranic systému nebo zvětšením podrobnosti produktového systému (*Kočí, 2009*).

### **2.4.3. Hodnocení dopadu životního cyklu (LCIA)**

Hodnoty shrnuté v inventarizační tabulce pro nás zatím nemají samy o sobě žádnou výpovědní hodnotu. Proto po dokončení inventarizace následuje další fáze, tzv. LCIA (Life Cycle Impact Assessment). Hlavním cílem je převést ekovektory produktových systémů na konkrétní měřitelné dopady na životní prostředí. Jde tedy o to, propojit výsledky inventarizace a přiřadit k nim kvantifikovanou hodnotu určité kategorie dopadu. Pro každou kategorii dopadu je potřeba zvolit veličinu, v níž bude velikost poškození vyjádřena (indikátor kategorie dopadu) (*Kočí, 2012*). Závažnost environmentálních dopadů je pak možné porovnávat pomocí těchto kvantifikovatelných veličin označovaných jako kategorie dopadu. Kategoriemi dopadu může být např. globální oteplování, acidifikace, eutrofizace... (*Kočí, 2009*). LCIA fáze nám tedy určí velikost negativních efektů na životní prostředí vlivem z inventarizační analýzy.

První krok hodnocení dopadů životního cyklu je **klasifikace**. Poté následuje **charakterizace** a případně **normalizace**.

### Klasifikace

Roztřídění veškerých negativních vlivů z fáze inventarizace podle jejich účinků k jednotlivým kategoriím dopadu. Některé elementární toky náleží do více kategorií dopadu, např. oxidy dusíku jsou řazeny pod acidifikaci i ke vzniku fotooxidantů (*Český normalizační institut, 2006*).

### Charakterizace

Charakterizace je vyčíslení míry, jak moc se elementární toky podílejí na rozvoji určité kategorie dopadu (*Kočí, 2009*).

Pomocí charakterizačního faktoru (CF) jsou všechny stejné elementární toky přepočítány na ekvivalentní jednotky. Vzniklé hodnoty se nazývají indikátory kategorií dopadu a znázorňují míru ovlivnění určitého problému životního prostředí - tzv. kategorie dopadu (*Remtová, 2003*).

Indikátor kategorie dopadu je měřitelná veličina s definovanými jednotkami. Slouží k vyjádření schopnosti elementárních toků negativně ovlivňovat životní prostředí.

Rozlišujeme dva typy, midpointové a endpointové indikátory. Midpointový indikátor hodnotí potenciální dopad škodlivých vlastností elementárních toků v rámci jejich fyzikálních, chemických a biologických vlastností. Příkladem je globální oteplování. Endpointový indikátor vyjadřuje naopak již měřitelný jev elementárních toků, způsobený přítomností látek v prostředí. Ukazuje tak konečný projev dopadu na životní prostředí. Příkladem jsou změny klimatu (*Bare a kol., 2000; Kočí, 2009*).

Kategorie dopadu jsou určité problémy životního prostředí, způsobované antropogenní činností. Každá kategorie dopadu je zapříčiněna určitou skupinou látek, např. množství uvolňovaných skleníkových plynů do ovzduší se podílí na globálním oteplování (*Kočí, 2012*). V definici rozsahu studie uvádíme nejen kategorie dopadu, ale také podmínky, za kterých jsou pro danou studii relevantní.

Existuje několik charakterizačních modelů metod LCIA, hodnotících environmentální dopady výstupů z inventarizace, lišící se různými standardy kategorií dopadu. Některé jsou zaležené na měřitelných vlastnostech elementárních toků, tzv. midpointové a jiné popisující konkrétní pozorované poškození prostředí, tzv. endpointové (*Kočí, 2009*). Hlavním rozdílem mezi nimi je tedy způsob, jakým lze popisovat environmentální dopady jednotlivých elementárních toků (*Bare a kol., 2000*). Příklad midpointových je EDIP 97, CML-IA a TRACI, endpointové metodiky jsou Eco-indicator 99, EPS 2000 a Ekofaktor (*Kočí, 2009*). Metodiky bývají běžnou součástí LCA softwaru.

### ***Metoda CML-IA (CML impact assesment)***

V rámci této práce byla použita metodika CML-IA, která je založena na midpointových kategoriích dopadu. Vyvinuta byla v Nizozemí, Institutem environmentálních věd v Leidenu (*GaBi*). Míra určitého dopadu je definovaná v ekvivalentech referenční látky. Metodika se pro její dobrou propracovanost a aktuálnost dnes používá ve většině evropských studií LCA (*Kočí, 2010*).

### **Normalizace**

Normalizace už nám umožňuje srovnávání různých produktových systémů nebo také posouzení, které kategorie dopadu jsou v rámci studie nejvýrazněji zasaženy.

Výsledky kategorií dopadu jsou udávány v odlišných jednotkách. Normalizací dojde k převedení výsledků indikátorů kategorie na bezrozměrné normalizované hodnoty. Výsledkem je charakterizační profil, kde jsou indikátory kategorií dopadu uvedeny již v konkrétních hodnotách a ekvivalentních jednotkách (*Finnveden a kol., 2009; Kočí 2009*).

### **Vážení**

Nemusí být součástí LCA studie. Osvětluje významnosti kategorií dopadu s ohledem na ekonomicko-sociální hlediska. I když po normalizaci mohou být výsledky indikátoru kategorie dopadu stejné, jejich význam pro společnost se může v závažnosti lišit (*Kočí, 2009*).

### ***Kategorie dopadu***

Kategorie dopadu vyjadřují konkrétní negativní vlivy lidské činnosti na životní prostředí, zdraví osob i surovinové zásoby. Jeden proces často mívá rovnou několik pozorovaných negativních následků. V tomto případě mluvíme o tzv. dopadovém řetězci.

Kategorie lze rozdělit na globální (globální oteplování, úbytek stratosférického ozónu, úbytek surovin), regionální (acidifikace, eutrofizace, vznik fotooxidantů) a lokální (ekotoxicita, humánní toxicita) dopady (*Boulay a kol., 2011*).

Všechny látky způsobující globální dopady jsou mobilní, s pomalým rozkladem, v životním prostředí proto působí dlouhodobě. Regionální dopady zapříčiňují většinou difuzně šířené látky, působící na stejném místě odkud vzešly. Lokální dopady se vyskytují do vzdálenosti maximálně několika kilometrů od zdroje konkrétního bodového znečištění (*Kočí, 2009*).

Další dělení je na surovinové a intervenční kategorie (*Kočí, 2009*). Surovinové představují úbytek konkrétních surovin a intervenční dopady ukazují účinky elementárních toků na životní prostředí.



Dále kategorie dopadu můžeme rozlišovat na základní, specifické a někdy dělíme i kategorie, které prozatím součástí metodik nebývají – zápach, hluk, odpadní teplo... (*Tab. 1*). (*Byule a kol., 2013*)

#### ***Základní kategorie dopadu:***

Úbytek surovin (ADP) – Posuzuje využívání obnovitelných (voda, dřevo,...), ale především neobnovitelných zdrojů (nerostné suroviny, fosilní paliva,...) surovin. Můžeme sledovat jak materiálový, tak energetický úbytek. Dopad této kategorie je určen poměrem mezi rychlostí těžby dané suroviny vztaženém k její celkové zásobě. Referenční látkou u energeticky využívaných surovin je MJ, u materiálových zdrojů pak antimon (Sb) (*Tae Hyuong, Sung Ho, 2016*).

Acidifikace (AP) – Acidifikační potenciál je schopnost látek působit na prostředí kyselé. Míra acidifikace se značně liší dle regionů i vlastností atmosféry. Znečišťující antropogenní látky se do prostředí dostávají atmosférickou depozicí, vypouštěním látek jako je např. oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) nebo oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Okyselování půdy a vod snižuje jejich neutralizační kapacitu a zvyšuje mobilitu přítomných těžkých kovů, ty pak působí nepříznivě na rostliny i živočichy. Nejvýznamnější znečišťovatelé této kategorie jsou například oxid siřičitý, který byl zvolen za referenční jednotku, sirovodík ( $\text{H}_2\text{S}$ ), fluorovodíku (HF) a další (*Tae Hyuong, Sung Ho, 2016*).

Eutrofizace (EP) – Eutrofizace se týká vod, které jsou silně zatěžovány zvýšeným obsahem živin, především dusíku (N) a fosforu (P), v důsledku chemického hnojení a vysoké produkce odpadních vod. Obsah živin zapříčiní rychlý růst sinic a řas, v důsledku čehož dojde k narušení světelného a kyslíkového režimu vod a prudce se zhoršuje kvalita vody. Referenční látkou je fosforečnanový aniont ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (*Tae Hyuong, Sung Ho, 2016*).

Globální oteplování (GWP) – Tento dopad ovlivňuje neustále se zvyšující roční průměrná teplota zemského povrchu, zapříčiněná především rostoucím množstvím emisí skleníkových plynů v atmosféře. Globální oteplování způsobuje změny jak v suchozemských, tak i ve vodních ekosystémech, ale i na pobřežích, kvůli rostoucí hladině moří. Referenční látkou a současně hlavním skleníkovým plynem je oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Dalšími významnými skleníkovými plyny jsou např. methan ( $\text{CH}_4$ ) nebo oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Tyto látky patří ke 23 emisím, jež jsou specifikovány v pokynech Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC). (*IPCC, 2006; Tae Hyuong, Sung Ho, 2016*).

Humánní toxicita (HTP) - popisuje míru působení toxicity látek. Toxické látky mohou mít na člověka různé účinky i působení, vzhledem k tomu a je tato kategorie poměrně těžko charakterizovatelná. Nejvyšší přípustné koncentrace některých látek jsou dány přímo legislativou. Referenční látkou je 1,4-dichlorbenzen (*Kočí, 2009*).

Úbytek stratosférického ozonu (ODP) – V zemské atmosféře se ozon udržuje ve vratké chemické rovnováze, tj. stavu, kdy soustava navenek nemění své složení, ale uvnitř soustavy neustále probíhají chemické děje. Tyto děje mohou být však velice snadno narušeny, což se děje především v důsledku lidské činnosti (*Balcar, 2007*). Ozon i volné atomy kyslíku jsou velice nestabilní, a proto ochotně reagují s dalšími látkami, např. s oxidy dusíku, vodíkem, chlórem a radikály a dále se slučují a štěpí, za rozpadu ozónu (*Balnar, 2008*). Těmito ději dochází ke ztenčování stratosférické ozonové vrstvy, což vede ke zvýšení expozice zejména UV-B záření (hl. vlnové délky 290 nm) na zemský povrch. Toto záření má zhoubné účinky na buněčné struktury a ohrožuje tak život na Zemi. Referenční látkou je CFC-11 (Trichlorofluoromethan).

Vznik fotooxidantů (POCP) – Některé znečišťující antropogenní látky (zejm. zapříčiněné průmyslovou výrobou, spalováním fosilních paliv apod.) se působením slunečního záření rozkládají na velice reaktivní radikály. Ty se pak okamžitě oxidují, často za vzniku peroxyacetylnitrátu (PAN) či známějšího troposférického (přízemního) ozonu a dalších. Jedná se o sekundární polutant, který je součástí fotochemického smogu – jeho podíl v něm činí až 80% (*ČHMÚ, 2013*). Působí jako silné oxidační činidlo a je proto nebezpečný lidskému zdraví. Mimo zdravotních komplikací (hl. dýchacích) působí škody i na rostlinách a mimo jiné je také schopen rozkladu některých materiálů (např. textilií, gumy, mědi, hliníku). (*Šec a kol, 2007; Balcar, 2006*).

Vznik těchto fotooxidantů ovlivňuje především přítomnost oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, uhlovodíků, volných radikálů (metan, oxid uhličitý) a UV záření v ovzduší. (*Ulbrichová; Šec a kol., 2007*). Zvýšený vznik troposférického ozonu je proto především za horkých, letních dnů, v lokalitách s vysokou koncentrací výfukových plynů, kde dochází k růstu obsahu oxidů dusíku a plynných uhlovodíků ve vzduchu. (*ČHMÚ, 2013*). Referenční látkou je ethen ( $C_2H_4$ ).

Sladkovodní, mořská a terestrická ekotoxikita (ETP) – stejně jako humánní toxicita popisují i tyto ekotoxicity míru působení látek na určité prostředí (ekosystém). Množství látek, jež ovlivňují tuto kategorii je ohromné, stejně tak i množství jejich účinků. Referenční látkou je opět 1,4-dichlorbenzen.

Tabulka 1: Přehled kategorií dopadu metodiky CLM-IA (Kočí, 2009)

Kategorie dopadu (základní)	Charakterizační faktor	Výsledek indikátoru kategorie dopadu	Referenční látka
Úbytek neobnovitelných surovin	ADP	kg Sb Equiv.	Antimon (Sb)
Acidifikace	AP	kg SO <sub>2</sub> Equiv.	Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> )
Eutrofizace	EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Equiv.	Fosforečnanový anion (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )
Sladkovodní ekotoxicita	FAETP	kg DCB Equiv.	1,4-dichlorbenzen (DCB)
Globální oteplování	GWP	kg CO <sub>2</sub> Equiv.	Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )
Humánní toxicita	HTP	kg DCB Equiv.	1,4-dichlorbenzen (DCB)
Mořská ekotoxicita	MAETP	kg DCB Equiv.	1,4-dichlorbenzen (DCB)
Úbytek stratosférického ozónu	ODP	kg CFC <sub>11</sub> Equiv.	Freon (CFC-11)
Vznik fotooxidantů	POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Equiv.	Ethen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )
Terestrická ekotoxicita	TETP	kg DCB Equiv.	1,4-dichlorbenzen (DCB)

Specifické kategorie dopadu:			
Využívání krajiny	m <sup>2</sup> /rok		Využité území (m <sup>2</sup> )
Zápach	Z		m <sup>3</sup>
Hluk			
Ekotoxicita sladkovodních sedimentů	FSETP	kg DCB Equiv.	1,4-dichlorbenzen (DCB)
Ekotoxicita mořských sedimentů	MSETP	kg DCB Equiv.	1,4-dichlorbenzen (DCB)
Úbytek obnovitelných surovin	BDP	kg slon Equiv.	Slon Africký
Ionizační záření	DF	rok·kBq <sup>-1</sup> (=DALY)	Uvolněná radiace do prostředí
Odpadní teplo			

(Monteiro, Freire, 2012)

#### **2.4.4. Interpretace životního cyklu**

Poslední fáze se týká samotné interpretace výsledků, tedy nějakého celkového zhodnocení veškerých zjištění, v závislosti na stanovených cílech a rozsahu studie. Prezentace výsledků dokáže velice ovlivnit jejich význam, proto byly zavedeny určité standardy. Jedním z nich je zhodnocení a identifikace procesů a hlavních vstupujících a vystupujících toků, které mají největší vliv na životní prostředí. Součástí interpretace by mělo dále být provedení analýzy citlivosti dat, zhodnocení nejistot a sepsání závěrečné zprávy, jež obsahuje závěry, omezení a doporučení studie (*Kočí, 2010; Guinée a kol., 2002*).

### 3. Odpadové hospodářství

#### 3.1. Právní úprava v ČR

V současné době je v oblasti odpadového hospodářství nejdůležitějším právním předpisem **zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech**, ve znění pozdějších předpisů, ze dne 15. května 2001. K tomuto zákonu byla přijata řada dalších nezbytných prováděcích právních předpisů. Zákon o odpadech představuje základní legislativní rámec odpadového hospodářství v ČR. Vymezuje pojmy, jednotlivé způsoby nakládání s odpady a klade důraz na hierarchii nakládání s odpady. Mimo jiné ustanovuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a nakládání s nimi.

Vstupem do Evropské unie přijala ČR její směrnice a nařízení. Směrnice Evropského parlamentu a Rady **2008/98/ES** ze dne 19. listopadu 2008, **o odpadech a rušící některé směrnice**, je spíše obecnější. Vymezuje pojmy a základní principy nakládání s odpady v EU a opět udává hierarchii nakládání s odpady. Jejím hlavním cílem je snížení produkce komunálních odpadů v Evropě, především za pomoci recyklace.

#### Hierarchie nakládání s odpady

Pro docílení co nejšetrnějšího nakládání s odpady vzhledem k životnímu prostředí byla zavedena tzv. pětistupňová hierarchie nakládání s odpady. Hierarchie se může lišit u různých druhů odpadů, s ohledem na technickou proveditelnost, ekonomické podmínky a ochranu životního prostředí (*Hansen a kol., 2002*).

1. **Předcházení vzniku odpadů** – původce odpadů má povinnost omezovat množství odpadů (včetně jejich velikosti) a snižovat jejich nebezpečné vlastnosti.
2. **Příprava k opětovnému použití**
3. **Recyklace**
4. **Jiné (např. energetické) využití**
5. **Odstranění** - skládkování je považováno za nejméně přijatelnou, avšak stále ještě ekologickou metodu (*Hansen a kol., 2002*).

#### 3.2. Základní pojmy

##### Odpadové hospodářství

Samostatný obor, zaměřený na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s nimi a na následnou péči o místo, kde jsou trvale uloženy, včetně kontrol těchto činností. V České republice bylo nakládání s odpady legislativně upraveno až od roku 1991, kdy vznikl první zákon o odpadech (*MŽP*). Nyní je základním dokumentem odpadového hospodářství nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství (*Mertl a kol., 2012*).

Nakládání s odpady - sběr, přeprava, využití a odstranění odpadů, včetně dozoru nad těmito činnosti a následné péče o místo odstranění (*European Commission, 2008*).

Plán odpadového hospodářství ČR - dokument zpracovaný ministerstvem na dobu 10ti let. Určující cíle odpadového hospodářství a vychází z požadavků právních předpisů Evropské unie (*Tomiková, 2004*).

### Využití odpadů

Zhodnocení odpadů tím, že nahradí jiné materiály, používané ke konkrétním účelům. Využití například jako druhotné suroviny či zdroje energie (*European Commission, 2008*).

### Odstranění odpadů

Činnost, která není využitím a to i v případě, že má za druhotný důsledek znovuzískání látek nebo energie. Jejím účelem je snížení nebo zamezení škodlivého vlivu odpadů na životní prostředí z hlediska ekologického ale i ekonomického. (*European Commission, 2008*).

### Odpad

Každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k tomuto zákonu. Odpady dělíme na nebezpečné a ostatní.

Nebezpečný odpad – odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze č. 2, zákona 185/2001 Sb. nebo příloze č. 2 vyhlášky č. 381/2001 Sb..

Ostatní odpad – veškeré odpady, jež neprokazují žádnou z nebezpečných vlastností. Řadíme do nich mimo jiné i následující:

Inertní odpad – nemá nebezpečné vlastnosti a za normálních klimatických podmínek u něj nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým ani biologickým změnám.

Komunální odpad – odpad, vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, jež je zařazen v Katalogu odpadů pod skupinu 20 (*EPA, 2017*). Můžeme jej dále dělit na separovatelné složky (papír, plasty, sklo, kovy, nápojové kartony), objemný odpad, biologicky rozložitelný odpad (zeleň) a zbytkový (nevytříděný) odpad (*Hoornweg a kol, 2012*).

Využitelné složky – separovatelné složky komunálního odpadu, které lze využít většinou jako druhotnou surovinu. V Katalogu odpadů jsou vedeny v podskupinách 20 01 a 15 01.

Biologicky rozložitelný odpad – odpady schopné aerobního nebo anaerobního rozkladu (např. zeleň, potraviny, papír,...).

### 3.3. Produkce odpadů v ČR

Jak již bylo řečeno výše, rozlišujeme 2 základní skupiny odpadů, a to odpady nebezpečné a odpady ostatní. Mezi ostatní odpady se dá zařadit prakticky vše, čemu nebyla přidělena žádná nebezpečná vlastnost. Nejvýznamnější skupinu tvoří komunální odpady a odpady charakteru komunálního, které jsou neustále hlavním tématem odpadového hospodářství. V Katalogu odpadů jsou zařazeny pod skupinu 20 a za jeho původce jsou dle zákona obecně považovány obce.

#### 3.3.1. Složení komunálních odpadů

Složení může být prakticky z čehokoliv, obsahuje vše, co bylo vyhozeno do odpadkových košů v domácnostech a kontejnerů na směsný komunální odpad. Obecně obsahuje veškerý odpad z domácností (zbytky jídla, obalové materiály, oblečení,...), který končí v popelnici či nádobě na SKO. (Vrbová, 2010). Mimo tuto směsici zahrnuje i různé separované složky (papír, plasty, sklo, kovy, nápojové kartony), objemný odpad, odpad ze zahrad, parků, ulic, ale i nebezpečné odpady (malé elektrospotřebiče, baterie, léky, chemikálie apod.) (Hoornweg a kol, 2012).

#### Fyzikálně-chemické vlastnosti odpadů

Opět jsou pro nás stěžejní odpady komunální, případně odpady biologicky rozložitelné. Fyzikální, chemické i biologické vlastnosti odpadů jsou pro nás velice důležité, díky nim můžeme zvolit vhodnou technologii pro jejich využití nebo odstranění. Základní rozhodující pozorované vlastnosti jsou vlhkost, obsah spalitelných látek, hustota, výhřevnost, recyklovatelnost i obsah látek (Filip a kol., 2006).

#### 3.3.2. Produkce odpadů

Jako základní charakteristika se uvádí celkové množství odpadů udávané v hmotnostních jednotkách za časové období (t/rok) a měrné množství udávající množství odpadu ke vztahu k jednomu obyvateli (kg/ob). (Filip a kol., 2006).

Tab. 2: Přehled produkce odpadů v ČR v letech 2009 – 2015:

Rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Celková produkce odpadů (mil. tun)</b>	32,3	31,8	30,7	30,0	30,6	32,0	37,4
<b>Celková produkce NO (mil. tun)</b>	2,16	1,78	1,84	1,64	1,44	1,57	1,50
<b>Celková produkce OO (mil. tun)</b>	30,1	30,0	28,8	28,4	29,2	30,5	35,8
<b>Celková produkce KO (mil. tun)</b>	5,32	5,36	5,39	5,19	5,17	5,17	5,57

Zdroj: CENIA, 2009 – 2015

Největší procentuální zastoupení v rámci OO tvoří zeminy, demoliční a stavební odpady, tzv. inertní odpad. Sklárky skupiny S-OO toto přijímají pouze částečně, většinou pro technické zabezpečení. Jinak je tento odpad ukládán na sklárky typu S-IO, tedy sklárky inertního odpadu.

Tab. 3: Produkce komunálních odpadů v ČR a jejich vztah k celkové produkci odpadů v letech 2006 – 2015:

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015
<b>Celková produkce odpadů (mil. tun)</b>	28,1	31,3	30,7	32,3	31,8	30,7	30,0	30,6	37,3
<b>Celková produkce KO (mil. tun)</b>	3,98	3,85	3,81	5,32	5,36	5,39	5,19	5,17	5,57
<b>KO – podíl na celkové produkci odpadů (%)</b>	14,2	12,3	12,4	16,5	16,9	17,6	17,3	16,9	14,1
<b>KO – produkce na obyvatele (kg/ob)</b>	388	369	366	507	510	513	494	492	500

Zdroj: CeHO, 2006; CENIA, 2007 – 2015

### 3.3.3. Srovnání produkce v ČR a zahraničí

Česká republika se v rámci Evropské unie pohybuje mezi státy s nejnižší produkcí komunálních odpadů vůbec.

## 3.4. Nakládání s KO v ČR

### 3.4.1. Využití

Podíl využití KO se v České republice rok od roku zvyšuje (Tab. 4). Velký vliv na to má hierarchie nakládání s odpady, již se řídí i Plán odpadového hospodářství. Proto, aby odpad mohl být využit, je nezbytné jeho vytrídění. Podle MŽP je třídění odpadů již vnímáno jako samozřejmost, patřící k současnému životnímu stylu (*Šestá hodnotící zpráva POH ČR, 2012*).



Tab. 4: Podíl využívání komunálních odpadů na celkové produkci KO v České republice, v letech 2005 – 2012

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Podíl využitých KO (%)	29,6	30,7	33,4	28,7	33,2	41,6	42,1
Podíl materiálové využitých KO (%)	20,0	21,0	23,9	22,7	24,3	30,8	30,4
Podíl energeticky využitých KO (%)	9,5	9,8	9,6	6,0	8,9	10,8	11,8

Zdroj: CeHO, 2005 – 2006; CENIA, 2007 – 2012

Rozlišujeme využití materiálové (recyklace, kompostování) a energetické (spalování).

**Energetickým využitím** se rozumí termický způsob odstranění odpadu s využitím uvolněného tepla, který nepotřebuje po zapálení žádné podpůrné palivo. Případně i odpad, použitelný jako palivo. Podle Kaufmanna (2013) by energie z více než 2 mil. tun KO uloženého ročně na skládky nahradila až 1,5 mil. tun hnědého uhlí.

Kromě zisku energie při spalování dojde k velké redukci objemu i hmotnosti odpadu. Vždy nám ale zůstává nějaký nespalitelný zbytek (struska, popílek).

**Materiálové využití** může mít více forem. Zahrnujeme do něj různé biologické procesy (mechanicko-biologickou úpravu odpadů, kompostování...), recyklace, regenerace a obnovy, rafinace olejů, terénní úpravy apod. Účel je ale vždy stejný – vytvoření materiálové suroviny z odpadu. Podmínkou je perfektní vytrídění určitého druhu odpadu. I tak ale existuje velká řada surovin, které neumíme kvalitně recyklovat nebo je jejich přepracování příliš náročné a nevyplatí se. Také ne každý materiál lze recyklovat neustále dokola, např. papír pouze 4 – 7 x, málo kvalitní plasty vůbec (*recífa*).

Moderní, ale poměrně náročnou možností je kompostování biologických odpadů. Definováno je jako aerobní biologický rozklad organických odpadů za činnosti mikroorganismů, při vhodné vlhkosti (*Janíčková, 2012*). Výsledným produktem jsou humusové látky, zbavené parazitů, patogenních mikroorganismů a semen plevelů a lze je využít jako hnojivo (*Haug, 1993*).

### 3.4.2. Odstranění

Konečné odstranění odpadů bez zisku energie (spálení) či materiálu. Nejtypičtějším příkladem odstranění je skládkování.

## 4. Skládkování

### 4.1. Právní úpravy a pojmy

Skládkování je stále nejrozšířenějším způsobem nakládání s odpady, jak v České republice, tak i ve většině států Evropské unie. Cíle Plánu odpadového hospodářství však vedou k jeho omezování s vizí celkového zákazu ukládání komunálních odpadů na skládky. Již nyní je podle vyhlášky č. 294/2005 Sb. zakázáno skládkovat veškeré neupravené odpady, s výjimkou inertních odpadů.

Skládkou odpadů je dle zákona č.185/2001 Sb., o odpadech technické zařízení zřízené v souladu se zvláštním právním předpisem, sloužící k ukládání předepsaných druhů odpadů za daných technických a provozních podmínek a při průběžné kontrole vlivu na životní prostředí. (*Filip a kol., 2006*).

Podle technického zabezpečení a tzv. třídy vyluhovatelnosti dělíme skládky na:

**Skládky inertního odpadu (S-IO).** Inertní odpady představují hl. stavební sutiny, zeminy apod. Skládky této kategorie nemusí být vybaveny žádným speciálním systémem ochrany.

**Skládky ostatního odpadu (S-OO)** – Tyto skládky již musí splňovat určité podmínky vůči těsnění i ochranných opatření. Dále je dělíme na S-OO1 (pro ukládání odpadů s nízkým obsahem biologicky rozložitelných látek a odpadů z azbestu za stanovených podmínek) a S-OO3 (pro odpady s podstatným obsahem biologicky rozložitelných látek).

**Skládky nebezpečného odpadu (S-NO).** Musí mít předepsané kombinované těsnění, různé ochranné a kontrolní systémy (*Altman a kol., 2010*).

V roce 2014 bylo na území ČR provozováno 29 skládek typu S-IO, 137 typu S-OO a 24 S-NO.

Od roku 2009 musí veškeré skládky provozované v České republice splňovat následující technické normy:

ČSN 83 8030 Skládkování odpadů - Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek

ČSN 83 8032 Skládkování odpadů – Těsnění skládek

ČSN 83 8033 Skládkování odpadů - Nakládání s průsakovými vodami ze skládek

ČSN 83 8034 Skládkování odpadů - Odplynění skládek

ČSN 83 8035 Skládkování odpadů - Uzavírání a rekultivace skládek

ČSN 83 8036 skládkování odpadů - Monitorování skládek.

Nezbytnou součástí provozu skládky je dále individuální Provozní řád, definovaný normou TNO 83 8039. Ten obsahuje nejdůležitější předpisy týkající se provozu, údržby, povinných měření apod.

#### 4.2. Proces skládkování

Samotný proces skládkování, nezahrnujeme-li fázi výstavby a rekultivace, se skládá z ukládání navezeného odpadu, jeho hutnění (rozhrnování a drcení), následně zakončené překrýváním denních navezených vrstev vhodnou zeminou.

Tab. 5: Podíl odstraněných KO z jejich celkové produkce v ČR v letech 2009 – 2015

Rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Podíl odstraněných KO skládkováním (%)	64,0	59,5	55,4	53,6	52,2	48,3	47,4
Podíl odstraněných KO spalováním (%)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,07

Zdroj: CENIA, 2009 – 2015

Důležitým faktorem skládkování je produkce skládkového plynu z rozkládající se odpadu. Jedná se o plyn samovolně vznikající přeměnou biologicky rozložitelných materiálů. Jeho složení a následná možnost využití závisí na skladbě uloženého odpadu. V dnešní době již mají všechny skládky legislativně nařízeno plyn odčerpávat. K jeho odchyťování se přistupuje většinou až ve fázi rekultivace, či starších částech skládky, nejvyšší míra produkce je 5 – 13 let po uložení odpadu. Složen je především z methanu (30 – 70 %), oxidu uhličitého (15 – 60 %), dusíky a dalších příměsí (Hrabčák, 2013). Mimo skutečnost, že se jedná o významný skleníkový plyn, hrozí i jeho nahromadění v tělese skládky a tím se zvyšuje riziko požáru. Ať jsou skládky odplyňovány sebe lépe, vždy bude docházet k nějakému úniku do atmosféry. Celková produkce plynu se odhaduje na 200 – 250 m<sup>3</sup> z 1 tuny KO. Z tohoto množství lze zachytit a využít 20 - 80 %. (Biomass Technology, 2009; Fries, 2007).

## Experimentální část

### 5. Náplň a rozsah práce

Náplň experimentální části diplomové práce tvoří:

1. Použití metody LCA v oblasti odpadového hospodářství a namodelování procesu skládkování odpadu
2. Vyhodnocení hlavní materiálových, energetických a elementárních toků skládkování
3. Vzájemné srovnání namodelovaných procesů i jejich srovnání s databázovým modelem
4. Zhodnocení, které oblasti ŽP jsou stavbou nejvíce zasaženy a kde by bylo vhodné přistoupit k optimalizaci.

### Hypotézy

Doprava odpadů na skládku nebude mít zásadní vliv na ŽP.

Nejvýznamnějším znečišťovatelem životního prostředí bude skládkový plyn.

Všechny modelované skládky budou mít podobný vliv na ŽP.

Důvodem zpracování této studie bylo vytvoření průměrného modelu skládkování komunálních odpadů v ČR, porovnání jednotlivých zpracovávaných skládek a posouzení hlavních odlišností. Dále srovnání průměrného modelu skládky s databázovým modelem a možnost porovnání skládkování s dalšími metodami zabývající se zpracováním nebo odstraňováním ostatních odpadů. Zároveň bylo cílem zjistit, které oblasti ŽP jsou skládkováním nejvíce zasaženy a jaký proces skládkování má nejvýznamnější negativní vliv na životní prostředí.

Pro vytvoření průměrného modelu bylo použito 8 skládek kategorií SOO, různých velikostí, z celé republiky. Data ze všech skládek pro tento model byla získána a namodelována za 1 rok provozu (2007), (některá data převzata od doc. Ing. Vladimíra Kočího, Ph.D.).

Jedna ze skládek (Skládka A) pak byla posuzována z dlouhodobého hlediska. Data byla získána a zpracována za 10 let provozu (2006 – 2015). Jednotlivé modely byly zpracovány i za každý rok provozu, díky čemuž můžeme srovnat nejen skládky mezi sebou, ale i jednotlivé roky mezi sebou.

Průměrný model skládky i jednotlivé modely byly vytvořeny pomocí programu GaBi. Výsledky této experimentální části by neměly ukázat jenom jaký proces skládkování má největší vliv na životní prostředí, ale také zhodnotit, jakou měrou se jednotlivé procesy na znečišťování podílí.

### 5.1. Skládky 1 – 8

Všechny pozorované skládky mají povolení nakládat pouze s odpadem kategorie S-OO (ostatní odpad, jehož převážnou část tvoří odpady komunální).

Tab. 6: Místní a kapacitní přehled sledovaných skládek:

Skládka	Kraj	Množství přijímaných odpadů (t/rok)
1)	Středočeský	30 000
2)	Vysočina	30 000
3)	Moravskoslezský	80 000
4)	Zlínský	20 000
5)	Jihomoravský	30 000
6)	Moravskoslezský	80 000
7)	Vysočina	30 000
8)	Královehradecký	60 000

### 5.2. Skládka A

Skládka odpadů kategorie S-OO, konkrétně S-OO1 a S-OO3. Do skupiny S-OO1 řadíme takzvaný ostatní odpad, s nízkým obsahem organických biologicky rozložitelných látek. Skupina S-OO3 je naopak tvořena odpadem s podstatným obsahem organických rozložitelných látek. Odpady pro technické zabezpečení skládky (využívané pro různé terénní úpravy, překryvy tělesa, pro stavbu drenážních a ochranných vrstev, rekultivaci apod.) tvoří přibližně 25% všech odpadů uložených na skládce za 1 rok. Největší část ukládaných odpadů tvoří komunální odpady, tady konkrétně 65 – 70 % KO za rok.

Zahájení výstavby skládky započalo již roku 1995. O rok později, tedy 1996 byl zahájen provoz I. etapy. V současné době je skládka tvořena celkem ze III etapy a plánuje výstavbu IV. Nynější celková kapacita činní 734 000 m<sup>3</sup>. Skládka nemá vyšší nároky na zábor půdy, jelikož byla vystavěna v bývalé těžební jámě cihlářských surovin.

Tab. 7: Přehled výstavby a kapacit jednotlivých fází skládky A). Zdroj: Provozní řád skládky

Etapa	Sekce	Zahájení stavby	Ukončení stavby	Zahájení provozu	Skládková plocha (m <sup>2</sup> )	Projektovaná kubatura (m <sup>3</sup> )
I.	1. – 2.	1995	1995	1996	8 000	93 000
II.	3.	1999	1999	1999	4 000	59 000
	4.-5.	2002	2002	2002	11 000	113 000
III.	6.-7.	2005	2006	2006	5 570	85 750
					6 925	93 500
	8.-9.	2008	2008	2008	7 225	96 750
					3 920	55 700
	10.	2010	2012	2012	11 970	137 200

#### Areál skládky:

Areál je oplocený, uvnitř se nachází mimo samotného tělesa skládky provozní budova pro zaměstnance. Splaškové vody z budovy jsou svedeny do bezodtokové vyvážecí jímky. Obsah jímky je při naplnění čerpán a odvezen do čistírny odpadních vod. Poblíž budovy je silniční váha. Příjezd a pohyb vozidel v areálu probíhá po zpevněných i nezpevněných komunikacích. Dále zde nalezneme montovanou, přenosnou garáž, určenou pro parkování a opravu strojů (kompaktor, nakladač, traktor,...) a aut, sklad nádob, nářadí a materiálů. Zpevněné plochy staré skládky jsou uzpůsobeny ke skladování prázdných kontejnerů a druhotných suroviny (sklo, plasty, papír atp.). Čerpací stanice pohonných hmot v areálu má objem 8 000 litrů.

Další stavbou v areálu je kompostárna s kapacitou 5 000 t/rok, sloužící pro biologickou úpravu dopadů. Ta však do této studie LCA zahrnuta nebyla.

#### Těleso skládky:

Těsnící systém skládky: Při výstavbě jednotlivých etap byla vždy provedena úprava terénu, navezen jíl o mocnosti 2-3 x 20-25 cm s minimálním koeficientem filtrace ( $k_f = 1 \cdot 10^{-9}$  m/s, umístěna PEHD fólie (1,5 – 2 mm) a geotextilie (dle potřeby 300 nebo 800 g/m<sup>2</sup>).

Drenážní systém je dělen na dno a svahy. Dno tvoří 30 cm kačírku a svahy jsou zpevněny ojetými pneumatikami a kačírkem. Ve třetí etapě byly navíc do svahů použity vytríděné plastové odpady.

Ochrana tělesa proti pronikání povrchových vod z okolí: těleso skládky je po obvodu lemováno záchytnými příkopy. Již rekultivované svahy jsou ošetřeny protierozními opatřeními (zatravnění apod.). Pro zamezení vtoku dešťových vod do aktivní části je možné průběžné překrývání vrstvou zeminy.

### Proces skládkování:

Odpad je ukládán ve vrstvě o mocnosti cca 0,5 – 3 m. Čelo denní dávky se upraví ve sklonu min 1:1. Jako ochrana před prašností a zápachem a preventivní ochrana před případným nebezpečím vznícení je odpad průběžně rozhrnován a hutněn kompaktozem. Podle potřeby, charakteru ukládaného materiálu je odpad překrýván vrstvou překryvného materiálu či odpadu pro TZS (jsou-li k dispozici) nebo vhodným odpadem o tloušťce vrstvy cca 100 mm. Překryv skládky se provádí pro zamezení prášení, úletům lehkých částí odpadu a samovznícení. Obvod skládky, který bude v budoucnu rekultivován je ohraničen hrázkou z inertního materiálu, který splňuje geotechnické parametry stability, popřípadě z vhodných odpadů. Hrázky tvořené z odpadů je vhodné přesypat vrstvou inertního materiálu, zejména zemin.

Jakmile dojde k dosažení maximální výšky dané etapy, musí se tento úsek vhodně upravit podle plánované rekultivace. Sklon skládky před uzavřením jejího povrchu musí činit minimálně 1 %, kvůli odtoku dešťových vod (*Provozní řád skládky*).

Skládka je aktivně odplyňována i odvodňována. Skládkové vody jsou sváděny drenážním systémem do **jímky průsakových vod**. Jedná se o železobetonový dvoukomorový bezodtokový objekt, uvnitř ošetřen ochranným vodotěsným nátěrem. Provozní objem jímky je 825 m<sup>3</sup>, havarijní objem 1 225 m<sup>3</sup> a celkový objem činí 1 425 m<sup>3</sup>. Jejím účelem je především vyrovnávání výkyvů v přítoku průsakových vod a shromažďování těchto vod pro následné zneškodnění, případně využití. Voda z jímky se používá ke zkrápění skládkového tělesa pro omezení prašnosti. Zkrápění se provádí rozlivem či rozstřikem z mobilní cisterny tažené traktorem nebo výtlakovým potrubím. Přebytek průsakových vod je odvážen ke zneškodnění do čistírny odpadních vod. Kontrola hladiny vody v jímce průsakových vod je prováděna každodenně vizuálně. Při dosažení kóty 2,0 m pod horním okrajem jímky zajistí provozovatel použití průsakové vody na zkrápění nebo její odvoz na ČOV. Při dosažení této hladiny je v jímce ještě k dispozici kritická rezerva 300 m<sup>3</sup>. **Výtlačné potrubí průsakových vod** dopravuje vodu od čerpadla jímky výluhových vod zpět na těleso skládky. Potrubí je tvořeno trubkami PEHD.

Odplyňovací systém skládky je složen z jímácích studní, plynového potrubí, čerpací jednotky a kogenerační jednotky. Zachycený skládkový plyn putuje do kogenerační jednotky, kde dochází k výrobě elektrické a tepelné energie.

Dalšími objekty na skládce jsou různé monitorovací a kontrolní vrty, jímka povrchových vod a čerpací stanice vod.

### Rekultivace skládky:

Rekultivace probíhá postupně, po jednotlivých etapách v návaznosti na ukončení navážení odpadu. Po ukončení skládkování etapy je koruna navýšena o cca 4 m oproti limitní maximální

výškové kótě. Povrch tělesa se důkladně zhutní kompaktozem a zajistí se co největší homogenizace povrchu terénu z důvodu zabránění úletů lehkých frakcí. Tvar výsledného povrchu musí být takový, aby veškerá dešťová voda byla svedena do sběrného příkopu. Výluhová voda ze skládky je nadále sváděna drenážním systémem do retenční nádrže. Nepropustné překrytí povrchu skládky musí umožňovat odvedení skládkových plynů z prostoru skládky.

Rekultivací jsou veškeré dotčené pozemky navraceny do stejné kultury v jaké se nacházely před započítáním stavby (zatravněny). Těsnicí vrstva rekultivace může být tvořena buď vrstvou zeminy (či vhodných odpadů), které mají po zhutnění hodnotu  $k_f$  maximálně  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s a jejichž tloušťka nesmí být menší než 0,5 m ve zhutněném stavu. Těsnění musí být chráněno proti vysychání a následnému popraskání. Další možností je fólie minimální tloušťky 1,5 mm, jejíž funkčnost pro tyto účely je výrobcem garantována nejméně pod dobu 10-ti let. Nebo jiným těsnícím prvkem srovnatelných funkčních vlastností (bentonitové rohože, vhodné odpady,...).

Způsob jímání a odvětrávání skládkových plynů po ukončení skládkování bude posouzen na základě množství a kvality vznikajícího bioplynu před konečnou rekultivací skládky. Po ukončení skládkování provozovatel dále pečuje o skládku, tj. zajistí vývoz a zneškodnění průsakových vod, funkčnost drenážního potrubí, jímání, zneškodňování, popř. využívání skládkového plynu, čištění přístrojů, potrubí, monitorovacích vrtů apod., a to po dobu 30 let od ukončení skládkování. Konečné uzavření skládky je také spojeno s celkovým úklidem okolí a s odstraněním určených objektů.

## **6. Model skládky**

### **6.1. Definice cílů a rozsahu**

Prvním cílem praktické části diplomové práce bylo namodelování procesu skládkování odpadu. Tento model posuzuje životní cyklus služby, od přepravy vyprodukovaných odpadů původci na těleso skládky, jeho uložení, hutnění, „zrání“, produkci skládkového plynu, včetně jeho využití i úniku, skládkové vody a jejich přepravu na ČOV a samotné zázemí skládky zaměstnanců (využití elektrické energie, pitné vody, splaškové vody).

Hranice jednotlivých produktových systémů byly definovány s ohledem na zahrnutí všech podstatných procesů, materiálových i energetických toků.

#### **6.1.1 Funkce systému**

Funkcí studovaného systému je konečné odstranění ostatního (hl. komunálního) odpadu jeho uložení na skládku. Tato služba zahrnuje odvoz odpadu od producenta, jeho uložení, zpracování a následný rozklad. U skládky A budou posuzovány roky 2006 – 2015 a jejich



průměr. U ostatních sedmi skládek byl vytvořen model za 1 rok (2007) jejich provozu. Nakonec byl vytvořen průměrný model všech 8mi skládek a výsledky porovnány.

### 6.1.2 Funkční jednotka a referenční tok

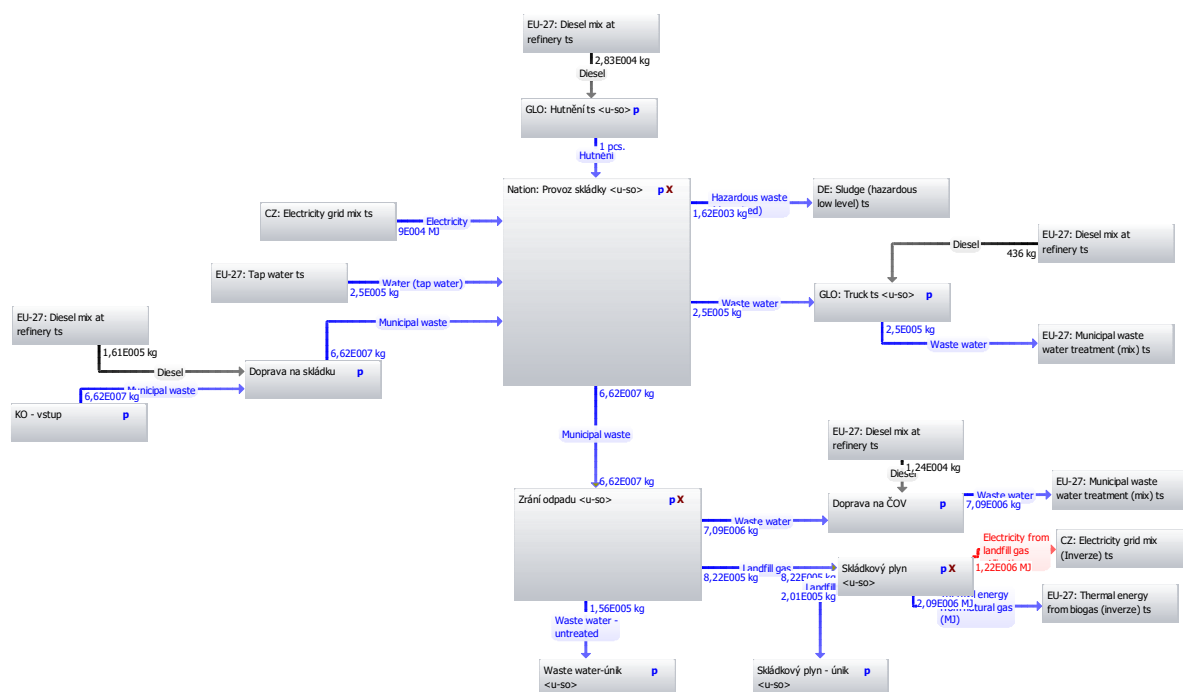
Za funkční jednotkou byla zvolena 1 tuna skládkovaného ostatního odpadu.

Referenční tok je množství produktu potřebného k naplnění funkční jednotky. Jako referenční tok bylo zvoleno množství 1 tuny skládkovaných odpadů za 1 kalendářní rok.

### 6.1.3. Posuzovaný systém

Do pozorovaného systému bylo zařazeno: množství vyprodukovaného odpadu, jeho přeprava od producentů na skládkové těleso, vytřídění a odvezení nebezpečného odpadu, přeprava odpadu po tělese skládky, jeho hutnění a rovnání, „zrání odpadu“ – produkce skládkového plynu, jeho únik ze samotného tělesa skládky, zpracování zachyceného plynu, únik plynu z kogenerační jednotky, vyrobená energie, průsak skládkových vod, jejich odvoz do ČOV a zpracování. Dále pak klasické zázemí zaměstnanců skládky, jež zahrnuje spotřebovanou pitnou vodu, využitou elektrickou energii a splaškové vody (*Obr. 3*).

Skládka (Copy) -prům.data o  
Process plan:Reference quantities



Obr. 3: Ukázka modelu skládky při procesu modelování v programu GaBi

#### 6.1.4. Hranice systému

Celý proces skládka odpadů se skládá z fází výstavby, provozu a uzavření. Studie se však zabývá pouze samotnou fází provozu skládky (skládkování odpadů). Data byla zpracována vždy z jednotlivých roků provozu. Fáze výstavby by zahrnovala i výrobu jednotlivých materiálů použitých při stavbě, výstavbu dalších částí skládky jako jsou odplynovací potrubí a studny, kogenerační jednotka, drenážní systém, jímky, zaměstnanecké budovy na tělese, váhy pro auto apod. Případně, chtěli bychom být hodně detailní i výrobu aut a další mechanizace, zajišťující provoz skládky.

Určit hranice uzavření a rekultivace skládek je poměrně obtížné vztáhnout k nějakému určitému časovému úseku. Každá etapa skládky je v provozu různou dobu a k uzavírání a rekultivacím již navezených částí dochází postupně. Samotná rekultivace by však neměla mít významný vliv na ŽP. Zahrnuje fáze položení geotextilie, provedení terénních úprav, při kterých bývají použity materiály převážně ze skládkového tělesa a zatravnění. Údržba rekultivované části skládky pak bude sestávat z udržování zeleně (sečení trávy) a pravidelných, převážně zákonem stanovených kontrol. Mimo tuto údržbu je nutno brát v úvahu, že i v rekultivované části neustále vzniká skládkový plyn, který je odchyťován a sváděn společně s plynem vznikajícím v dalších etapách skládky do kogenerační jednotky. Stejně tak budou nadále odváděny vzniklé průsakové skládkové vody. Množství vzniklých skládkových vod i plynu z provozu a z uzavřené části nelze oddělit.

#### 6.1.5. Zdroje dat

Nezbytná data pro sestavení této studie LCA poskytli provozovatelé a vlastníci skládek z provozních deníků, projektových dokumentací a ročních zpráv pro Krajský úřad. Data skládek č. 1 – 7, u kterých byl zpracován jeden rok provozu (2007) jsem převzala od mého pana školitele, doc. Ing. Vladimíra Kočího, Ph.D.

Procenta neměřeného úniku skládkového plynu a skládkových vod do prostředí byla převzata z odborných publikací. U skládky A byly hodnoty výkonu kogenerační jednotky převzaty od jejího výrobce TEDOM s.r.o. Prvkové složení skládkových vod i skládkového plynu bylo poskytnuto provozovatelem skládky (zisk z rozborů akreditovanou laboratoří z povinného monitorování skládky).

Sekundární data, jako výroba elektrické energie, výroba pitné vody apod. pochází z databáze softwaru GaBi 6. Ta poskytuje kompletní namodelované procesy pro jednotlivé státy (včetně ČR). V případech, kdy namodelované procesy pro Českou republiku nebyly dostupné, byla použita zprůměrovaná data pro Evropskou unii (EU-27). Stejně tak zdrojem databázového modelu je software GaBi 6.

## 6.2. Inventarizace životního cyklu (LCI)

V této části práce bude především uveden výčet jednotlivých procesů a vstupujících i vystupujících toků.

### 6.2.1. Databáze

V současné době existuje několik softwarů založených na metodě LCA, jež se snaží usnadnit hodnocení dopadů různých produktů, služeb i technologií (*Lee, Tae, Shin, 2009*).

Softwarovým a databázovým zdrojem poskytujícím podklady pro vypracování této práce byl **GaBi 6.0**. PE International. Tento software byl zvolen především pro svou transparentnost, reprezentativnost, v současné době obsahuje pravděpodobně nejvíce dostupných spolehlivých a vhodných dat v Evropě. Pracuje v souladu se stanovenými ISO normami pro LCA a obsahuje nejen environmentální data, ale nabízí také technické a socio-ekonomické hledisko (*Guinée, 2002*).

Z nasbíraných dat jsem si vytvořila jednotlivé procesy, které byly v programu spojeny do jednoho produktového systému, vymezeného výše určenými hranicemi.

### 6.2.2. Procesy systému

Ostatní odpad – proces sleduje množství odpadů navezeného a skládkovaného na dané skládce po dobu 1 roku. Z velké části se jedná o komunální odpad svezenny z obcí.

Doprava odpadu na skládku – vzdálenost svozu odpadů na skládku byla uvažována 30 km v kružnici od osy skládky. Pro svoz byla využívána auta splňující evropskou emisní normu EURO VI. Tato norma vstoupila v platnost v roce 2014 a stanovuje limitní hodnoty výfukových plynů, především oxidu uhelnatého, uhlovodíků, oxidů dusíku a pevných částic. Zatím se jedná o poslední platnou verzi emisní normy (*Sajdl*).

Hutnění – bylo sledováno množství nafty spotřebované přímo na tělese skládky přerovnáváním, převážením a hutněním navezených odpadů. Pro čerpání pohonných hmot slouží čerpací stanice v areálu skládky o objemu 8 000 litrů. Tato čerpací stanice je dodána společností Traso s.r.o.

Elektrická energie – roční spotřeba elektrické energie. Využívána je především v provozní budově v areálu skládky a pro vnější osvětlení.

Pitná voda – množství pitné vody, spotřebované zaměstnanci v areálu skládky.

Splaškové vody – odpadní vody, jdoucí z provozní budovy v areálu skládky do bezodtokové jímky. Po jejím zaplnění je obsah odčerpán a převezen na ČOV.

Skládkové vody – průsakové vody z tělesa skládky jsou sváděny drenážním systémem do retenční jímky. Část těchto vod je rozstříkem vrácena zpět na těleso, a to buď cisternou nebo pomocí výtlačné soustavy. Kalovým čerpadlem je z jímky čerpána voda a potrubím vytlačena

zpět na těleso, kde je pomocí rozprašovacích trysek rozstříkována. Přebytečné množství vod je odváženo do čistíren odpadních vod, kde je čištěno. V rámci tohoto procesu byl však ještě zahrnut možný 5 % únik těchto vod do okolí skládky.

Přeprava skládkových vod na ČOV – průměrná vzdálenost využívaných ČOV činí 22 km.

Odvází se sem jak průsakové vody, tak vody splaškové.

Skládkový plyn využitý pro výrobu energií – skládka má aktivní odplynovací systém, složený z jímacích studní, plynového potrubí, čerpací jednotky a kogenerační jednotky. Zachycený skládkový plyn putuje do kogenerační jednotky, kde dochází k výrobě elektrické a tepelné energie. Byly sledovány hodnoty produkce plynu, množství vyrobených energií i složení plynu. Výroba elektrické a tepelné energie instalovanou kogenerační jednotkou byla vyřešena pomocí inverze. Tímto způsobem dojde k převrácení záporných hodnot výroby energie (znečišťujících životní prostředí) na kladné (životnímu prostředí prospívají).

*Tab. 8: Přehled výkonu a účinnosti kogenerační jednotky instalované na skládce A). Zdroj: TEDOM a.s*

<b>El. Výkon</b>	<b>166</b>	<b>kW</b>
<b>Tep. Výkon</b>	<b>217</b>	<b>kW</b>
<b>El. Účinnost</b>	<b>37,8</b>	<b>%</b>
<b>Tep. Účinnost</b>	<b>49,5</b>	<b>%</b>
<b>Celk. účinnost</b>	<b>87,3</b>	<b>%</b>
<b>Příkon v palivu</b>	<b>439</b>	<b>kW</b>

Skládkový plyn – byl uvažován 20 % únik skládkového plynu přímo z tělesa skládky (nezachyceného sběrným plynovým potrubím). Současně byl připočítán plyn unikající z kogenerační jednotky při výrobě energií (údaje od výrobce kogenerační jednotky) (*GaBi*).

### 6.2.3. Vstupy a výstupy systému

Monitorované materiálové a energetické toky:

Množství navezeného odpadu, kategorie ostatní (převážně KO) - t/rok

Spotřeba elektrické energie - MWh

Spotřeba pitné vody - m<sup>3</sup>

Množství splaškových vod z budov (provoz skládky) - m<sup>3</sup>

Spotřeba nafty – dovoz odpadů na skládku – vypočítána spotřeba nafty, dle udané vzdálenosti navážení odpadů a používaných aut (l)

Spotřeba nafty – odvoz skládkových a splaškových vod na ČOV, opět spotřeba nafty vypočítána dle dopravované vzdálenosti - l

Spotřeba nafty – na tělese skládky (hutnění, rovnání...) – hodnota poskytnuta přímo provozovatelem skládky v litrech

Množství zachyceného skládkového plynu – množství zpracovávaného skládkového plynu,  $m^3$

Množství uniklého skládkového plynu – plyn unikající z tělesa skládky i částečný únik plynu při jeho zpracování,  $m^3$ . Celkový únik nezachyceného plynu byl počítán 20%.

Množství vyrobené elektrické energie ze skládkového plynu - MWh

Množství vyrobené tepelné energie ze skládkového plynu - MWh

Množství vzniklých odpadních vod odvezených na ČOV -  $m^3$

Množství vzniklých odpadních vod vrácených na těleso -  $m^3$

Množství vzniklých odpadních vod uniklých – bráno v úvahu 5 % únik z celkového množství vod zachyceného jímkou -  $m^3$

Množství vyříděných NO – odpady, které nesplňují podmínky uložení na skládku - t

#### **6.2.4. Alokace**

V modelu byl použit jeden případ alokace. Skládka má vybudovaný odplynovací systém s kogenerační jednotkou a výrobou elektrické a tepelné energie dochází ke vzniku pozitivního energetického toku. Alokace byla vyřešena nahrazením tokem inverzním.

### **6.3. Hodnocení dopadu životního cyklu (LCIA)**

#### **6.3.1. Klasifikace**

Pomocí softwaru GaBi 6 došlo k přiřazení výstupních dat z inventarizace k jednotlivým kategoriím dopadu na životní prostředí. V rámci studie byly posuzovány dopady kategorií na úbytek nerostných surovin, acidifikaci, eutrofizaci, sladkovodní, mořskou a terestrickou ekotoxicitu, globální oteplování, úbytek stratosférického ozonu, vznik fotooxidantů a humánní toxicitu.

#### **6.3.2. Charakterizace a normalizace**

Pro analýzu dopadů byl použit charakterizační model na midpointové úrovni CML 2001, který je orientován převážně na Evropu. Výsledky charakterizace jsou shrnuty v tabulkách níže. Jedná se již o souhrnné vyčíslení dopadů na konkrétní kategorie, vztažené k funkční jednotce produktového systému, tedy množství 1 tuny skládkovaných ostatních odpadů za 1 kalendářní

rok. Záporné hodnoty značí pozitivní dopady na danou kategorii, kladné hodnoty naopak dopady negativní.

Normalizace se provádí, pokud potřebujeme srovnat vliv na prostředí různých produktových systémů. Stanoví se hodnoty referenčních vlivů a určené standardizované vlivy se jimi podělí.

U velkých vlivů budou referenční hodnoty nízké a normalizační poměrně vysoké (*Remtová, 2003*). U srovnávání dvou produktů jeden systém zvolíme za vztažný a jeho výsledky indikátorů kategorií dopadu vyjádříme jako 100 %. Tyto hodnoty vydělíme hodnotami výsledků indikátorů dopadu druhého produktu. Výsledná data nám pak vyjadřují, z kolika procent má sledovaný produkt významnější vliv (*Kočí, 2012*).

Veškeré normalizace byly provedeny pro Evropu (CML2001 - Apr. 2015, EU25 + 3).

#### Skládka A:

Byla provedena charakterizace a následně normalizace jednotlivých let studované skládky, pro možnost srovnání a posouzení.

*Tab. 9: Porovnání vlivu skládkování 1 t ostatního odpadu za kalendářní roky 2006 – 2015 skládky A) na jednotlivé kategorie dopadu (charakterizační model CML 2001- Apr. 2015)*

Kategorie dopadu (jednotka)	Roky:									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Úbytek abiotických surovin (kg Sb Equiv.)	-2,53E-06	-2,52E-06	-2,56E-06	-2,71E-06	-2,56E-06	-2,51E-06	-2,44E-06	-2,24E-06	-2,26E-06	-2,26E-06
Acidifikace (kg SO <sub>2</sub> Equiv.)	8,43E-03	8,37E-03	7,03E-03	4,54E-03	8,02E-03	8,62E-03	8,33E-03	9,20E-03	6,79E-03	9,18E-03
Eutrofizace (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Equiv.)	4,20E-03	4,12E-03	3,94E-03	3,18E-03	4,40E-03	4,70E-03	4,36E-03	4,42E-03	3,31E-03	4,40E-03
Sladkovodní ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	4,93E-02	4,86E-02	4,85E-02	4,43E-02	5,12E-02	5,33E-02	5,10E-02	5,12E-02	4,44E-02	5,10E-02
Globální oteplování (kg CO <sub>2</sub> Equiv.)	4,62E+01	4,62E+01	4,69E+01	4,79E+01	4,72E+01	4,72E+01	4,62E+01	4,43E+01	4,35E+01	4,44E+01
Humánní toxicita (kg DCB Equiv.)	1,09E-01	1,08E-01	1,02E-01	8,20E-02	1,11E-01	1,22E-01	1,20E-01	1,31E-01	1,08E-01	1,30E-01
Mořská ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	-1,24E+02	-1,37E+02	-1,14E+02	-1,79E+02	-7,15E+01	-3,35E+01	-7,07E+01	-6,06E+01	-1,69E+02	-6,72E+01
Úbytek stratosférického ozonu (kg CFC <sub>11</sub> Equiv.)	3,18E-11	3,03E-11	3,22E-11	2,48E-11	3,72E-11	4,16E-11	3,71E-11	3,76E-11	2,48E-11	3,70E-11
Vznik fotooxidantů (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Equiv.)	-2,23E-03	-2,25E-03	-1,46E-03	-7,14E-04	-1,76E-03	-1,84E-03	-1,81E-03	-2,05E-03	-1,45E-03	-2,09E-03
Terestrická ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	2,35E-02	2,33E-02	2,31E-02	2,19E-02	2,40E-02	2,46E-02	2,39E-02	2,38E-02	2,17E-02	2,38E-02

*Tab. 10: Porovnání vlivu skládkování 1 t ostatního odpadu za kalendářní roky 2006 – 2015 skládky A) na jednotlivé kategorie dopadu (normalizační model pro Evropu, EU25+3)*

Kategorie dopadu (jednotka)	Roky:									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Úbytek abiotických surovin (kg Sb Equiv.)	-1,56E-14	-1,56E-14	-1,58E-14	-1,67E-14	-1,58E-14	-1,55E-14	-1,50E-14	-1,38E-14	-1,39E-14	-1,39E-14
Acidifikace (kg SO <sub>2</sub> Equiv.)	5,01E-13	4,97E-13	4,18E-13	2,70E-13	4,77E-13	5,12E-13	4,95E-13	5,47E-13	4,03E-13	5,45E-13
Eutrofizace (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Equiv.)	2,27E-13	2,23E-13	2,13E-13	1,72E-13	2,38E-13	2,54E-13	2,36E-13	2,38E-13	1,79E-13	2,38E-13
Sladkovodní ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	2,36E-13	2,33E-13	2,32E-13	2,12E-13	2,45E-13	2,55E-13	2,44E-13	2,45E-13	2,13E-13	2,44E-13
Globální oteplování (kg CO <sub>2</sub> Equiv.)	7,81E-12	7,80E-12	7,90E-12	8,09E-12	7,93E-12	7,92E-12	7,79E-12	7,47E-12	7,38E-12	7,50E-12
Humánní toxicita (kg DCB Equiv.)	2,18E-13	2,15E-13	2,05E-13	1,64E-13	2,22E-13	2,44E-13	2,40E-13	2,62E-13	2,17E-13	2,60E-13
Mořská ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	-2,78E-12	-3,09E-12	-2,55E-12	-4,03E-12	-1,61E-12	-7,53E-13	-1,59E-12	-1,36E-12	-3,79E-12	-1,51E-12
Úbytek stratosférického ozonu (kg CFC <sub>11</sub> Equiv.)	3,12E-18	2,97E-18	3,15E-18	2,43E-18	3,65E-18	4,08E-18	3,64E-18	3,68E-18	2,43E-18	3,63E-18
Vznik fotooxidantů (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Equiv.)	-1,29E-12	-1,30E-12	-8,45E-13	-4,13E-13	-1,02E-12	-1,06E-12	-1,04E-12	-1,19E-12	-8,38E-13	-1,21E-12
Terestrická ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	2,02E-13	2,01E-13	1,99E-13	1,89E-13	2,07E-13	2,12E-13	2,06E-13	2,05E-13	1,87E-13	2,05E-13

Dále následovalo vytvoření charakterizačního a normalizačního modelu z průměrných dat skládky A (z let 2006 – 2015).

*Tab. 11: Průměrná data skládkování 1 t ostatního odpadu za kalendářní roky 2006 – 2015 skládky A) na jednotlivé kategorie dopadu (charakterizační a normalizační model)*

Kategorie dopadu	Skládka A) průměrná data na 1 t/rok		
	Charakterizační model		Normalizace
Úbytek abiotických surovin	-2,46E-06	kg Sb Equiv.	-1,52E-14
Acidifikace	7,87E-03	kg SO <sub>2</sub> Equiv.	4,68E-13
Eutrofizace	1,22E+04	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Equiv.	2,22E-13
Sladkovodní ekotoxicita	4,93E-02	kg DCB Equiv.	2,36E-13
Globální oteplování	4,58E+01	kg CO <sub>2</sub> Equiv.	7,73E-12
Humánní toxicita	1,11E-01	kg DCB Equiv.	2,22E-13
Mořská ekotoxicita	-1,02E+02	kg DCB Equiv.	-2,29E-12
Úbytek stratosférického ozonu	3,34E-11	kg CFC <sub>11</sub> Equiv.	3,28E-18
Vznik fotooxidantů	-1,80E-03	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Equiv.	-1,04E-12
Terestrická ekotoxicita	2,33E-02	kg DCB Equiv.	2,01E-13

Pro ukázkou vlivu jednotlivých procesů na kategorie dopadu byla zvolena zprůměrovaná data skládky A. Některé procesy byly pro lepší přehlednost sloučeny dohromady, konkrétně se jedná o sloučení vlivu veškerých skládkových i splaškových vod a stejně tak i dopravy těchto vod na ČOV. Procentuální zastoupení je zobrazeno bez záporných čísel (majících kladný efekt na prostředí), způsobené výrobou elektrické a tepelné energie. V každé kategorii je červenou barvou označen proces s největším vlivem.

*Tab. 12: Vyhodnocení dopadů jednotlivých procesů z průměrných dat skládky A (2006 – 2015) na kategorie dopadu charakterizačního modelu CML 2001:*

Kategorie dopadu	Jednotka	Doprava odpadu na skládku	Hutnění	Přeprava skl. vod na ČOV	Elektr. energie	Pitná voda	Skl. + splaškové vody	Skládkový plyn	Skl. plyn – elektrická energie	Skl. plyn – tepelná energie
<b>Úbytek abiotických surovin</b>	kg Sb Equiv.	9,94E-08	5,65E-07	4,50E-08	5,19E-08	9,26E-10	1,74E-08	0,00E+00	-7,03E-07	-2,54E-06
<b>Acidifikace</b>	kg SO <sub>2</sub> Equiv.	1,41E-02	1,42E-02	2,65E-03	7,16E-04	3,24E-06	6,82E-04	0,00E+00	-9,70E-03	-1,47E-02
<b>Eutrofizace</b>	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Equiv.	3,60E-03	3,09E-03	6,45E-04	6,35E-05	9,36E-07	8,19E-04	4,10E-03	-8,60E-04	-3,24E-03
<b>Sladkovodní ekotoxická</b>	kg DCB Equiv.	8,77E-03	4,98E-02	3,96E-03	3,56E-04	8,66E-06	5,09E-03	0,00E+00	-4,81E-03	-1,39E-02
<b>Globální oteplování</b>	kg CO <sub>2</sub> Equiv.	7,91E+00	2,13E+00	6,55E-01	2,73E-01	2,16E-03	5,94E-01	3,86E+01	-3,69E+00	-7,02E-01
<b>Humánní toxicita</b>	kg DCB Equiv.	4,26E-02	2,12E-01	1,77E-02	8,40E-03	1,24E-04	2,12E-02	0,00E+00	-1,14E-01	-7,67E-02
<b>Mořská ekotoxická</b>	kg DCB Equiv.	1,93E+01	1,10E+02	8,72E+00	1,83E+01	2,13E-01	1,32E+02	0,00E+00	-2,48E+02	-1,43E+02
<b>Úbytek strat. ozonu</b>	kg CFC- <sub>11</sub> Equiv.	6,86E-12	3,90E-11	3,10E-12	1,42E-12	8,86E-14	1,41E-11	0,00E+00	-1,93E-11	-1,19E-11
<b>Vznik fotooxidantů</b>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Equiv.	-6,13E-03	-2,60E-03	-8,68E-04	5,79E-05	3,22E-07	5,11E-05	9,01E-03	-7,85E-04	-5,33E-04
<b>Terestrická ekotoxická</b>	kg DCB Equiv.	3,39E-03	1,93E-02	1,53E-03	2,14E-04	3,90E-06	1,47E-03	0,00E+00	-2,90E-03	3,50E-04



*Tab. 13: Zobrazení procentuálního zastoupení dopadů jednotlivých procesů z průměrných dat skládky A (2006 – 2015) bez inverzní výroby energií (záporná čísla) na kategorie dopadu charakterizačního modelu CML 2001:*

Kategorie dopadu	Doprava OO na skládku	Hutnění	Přeprava skládkových vod na ČOV	Elektr. energie	Pitná voda	Skládkové + splaškové vody	Skládkový plyn
Úbytek abiotických surovin	12,74	72,49	5,77	6,66	0,12	2,23	0,00
Acidifikace	43,50	43,97	8,20	2,22	0,01	2,11	0,00
Eutrofizace	1,91	1,64	0,34	0,03	0,00	0,43	0,02
Sladkovodní ekotoxicita	12,89	73,26	5,83	0,52	0,01	7,48	0,00
Globální oteplování	15,76	4,24	1,31	0,54	0,00	1,18	76,96
Humánní toxicita	14,13	70,16	5,86	2,79	0,04	7,03	0,00
Mořská ekotoxicita	6,68	37,99	3,02	6,34	0,07	45,89	0,00
Úbytek strat. ozonu	10,62	60,41	4,81	2,20	0,14	21,82	0,00
Vznik fotooxidantů	32,75	13,90	4,64	0,31	0,00	0,27	48,13
Terestrická ekotoxicita	13,09	74,46	5,92	0,83	0,02	5,68	0,00

## Srovnání skládek 1 – 8:

*Tab. 14: Porovnání skládkování všech 8mi skládek na jednotlivé dopadové kategorie (normalizační model pro Evropu, EU25+3)*

Kategorie dopadu (jednotka)	Skládka č.:							
	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
Úbytek abiotických surovin (kg Sb Equiv.)	-1,47E-08	-1,41E-09	-2,17E-09	-3,13E-08	-5,81E-10	7,70E-11	-2,15E-08	-9,34E-10
Acidifikace (kg SO <sub>2</sub> Equiv.)	-1,05E-06	-6,16E-08	-7,89E-08	-2,56E-06	6,15E-09	2,07E-07	-1,54E-06	2,98E-08
Eutrofizace (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Equiv.)	-1,59E-07	-6,04E-09	-2,83E-09	-3,33E-07	5,61E-09	5,18E-08	-2,30E-07	1,21E-10
Sladkovodní ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	-6,41E-08	-2,28E-09	-7,12E-10	-1,39E-07	2,28E-09	2,10E-08	-9,24E-08	1,40E-08
Globální oteplování (kg CO <sub>2</sub> Equiv.)	4,60E-06	5,09E-07	7,63E-07	7,17E-06	2,45E-07	2,30E-07	6,69E-06	4,68E-07
Humánní toxicita (kg DCB Equiv.)	-2,75E-07	-1,68E-08	-2,43E-08	-7,70E-07	-6,75E-10	4,41E-08	-4,03E-07	1,29E-08
Mořská ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	-6,38E-06	-4,39E-07	-6,21E-07	-1,82E-05	-1,10E-07	6,61E-07	-9,21E-06	-1,85E-07
Úbytek stratosférického ozonu (kg CFC <sub>11</sub> Equiv.)	-2,20E-12	-1,02E-13	-9,82E-14	-6,19E-12	2,60E-14	5,03E-13	-3,16E-12	1,78E-13
Vznik fotooxidantů (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Equiv.)	3,59E-06	2,39E-07	2,62E-07	5,67E-06	-2,30E-08	-7,24E-07	5,25E-06	-7,81E-08
Terestrická ekotoxicita (kg DCB Equiv.)	-1,47E-08	1,48E-09	3,68E-09	-5,62E-08	2,84E-09	1,46E-08	-2,12E-08	1,20E-08
<b>Celkem</b>	<b>8,24E-06</b>	<b>1,20E-06</b>	<b>1,97E-06</b>	<b>4,83E-06</b>	<b>6,51E-07</b>	<b>1,11E-06</b>	<b>1,21E-05</b>	<b>8,76E-07</b>

## 7. Interpretace životního cyklu – shrnutí výsledků a diskuze

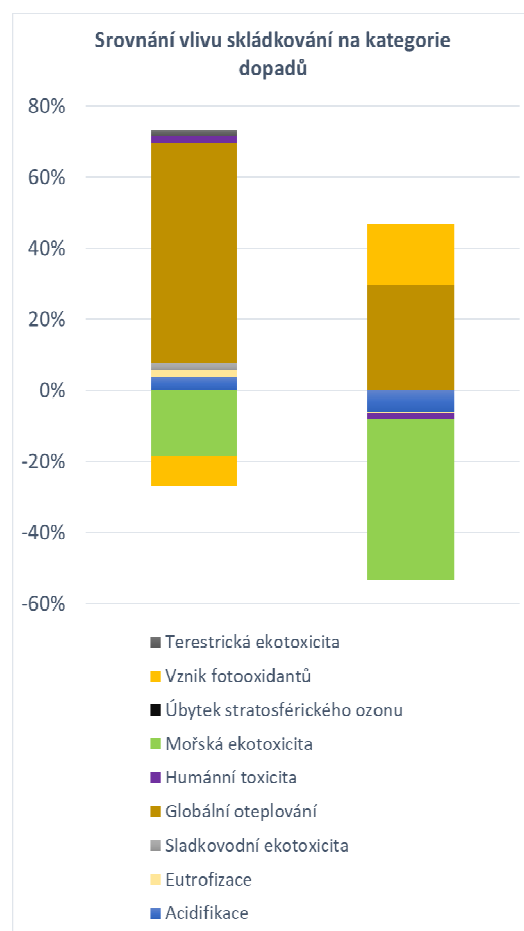
Byly namodelovány a zhodnoceny veškeré důležité, významně se podílející, procesy i toky skládkování.

### Zhodnocení vlivu procesů na kategorie dopadů:

Nejdříve bylo provedeno zhodnocení, které kategorie dopadů jsou vůbec skládkováním nejvíce zasaženy. K tomuto srovnání byla použita normalizovaná průměrná data Skládky A) (Obr. 4, 1. sloupec) a srovnána s normalizovanými průměrnými daty ze všech 8mi pozorovaných skládek (Obr. 4, 2. sloupec).

Tab. 15: Procentuální zobrazení normalizovaných celkových dopadů skládek na ŽP:

Kategorie dopadu	Skládka A) (%)	Skládky 1-8 (%)
Úbytek abiotických surovin	-0,27	-1,43
Acidifikace	8,16	-89,58
Eutrofizace	3,87	-2,02
Sladkovodní ekotoxicita	4,12	-2,81
Globální oteplování	134,82	434,51
Humánní toxicita	3,87	-24,62
Mořská ekotoxicita	-39,94	-669,69
Úbytek stratosférického ozonu	0,00	0,00
Vznik fotooxidantů	-18,14	255,08
Terestrická ekotoxicita	3,51	0,56



Obr. 4: Graf srovnání na které kategorie dopadů má skládkování největší vliv.

První sloupec – normalizovaná průměrná data Skládky A)

Druhý sloupec - normalizovaná průměrná data skládek 1-8

Dle grafu je zřejmé, že nejvíce dotčenými kategoriemi jsou s obrovskou převahou globální oteplování a nejvíce rozporuplný je vliv na mořskou ekotoxicitu, které je zobrazeno kladně, v důsledku provedené inverzní funkce z výroby elektrické a tepelné energie. Jiné procesy skládkování však na tuto kategorii působí velmi nepříznivě.

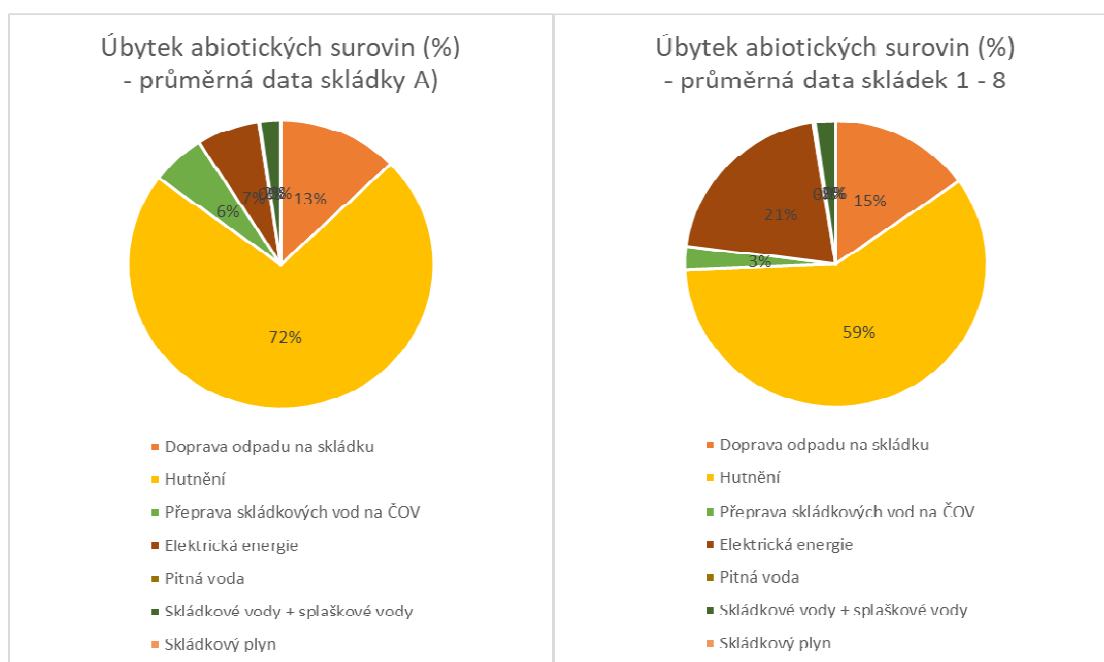
Model z průměrů skládek 1-8 vyšel celkově příznivěji z hlediska vlivu na životní prostředí. Důvodem bude právě rozmanitost skládek, kde za prvé každý provozovatel uvádí velice odlišné hodnoty produkce skládkového plynu, spotřebu nafty i elektrické energie. Nejodlišnější kategorií je vznik fotooxidantů, který je nejvýrazněji ovlivněn rozcházejícími se vstupními daty skládkového plynu.

Databázový model skládky je zcela odlišný, jelikož neuvažuje vstupní toky nafty, elektrické energie, vody a dalších. Hodnotí pouze skládkování z hlediska produkce plynu a odpadních vod.

### Úbytek surovin (ADP)

Vzhledem k tomu, že do studie nebyla zahrnuta data výroby produktů, jež se pak staly odpadem a většina materiálů využívaných na tělese skládky je také značena jako odpad, nebyl předpokládán významný vliv na tuto kategorii.

Kladné (škodlivé) hodnoty v této kategorii tvoří především spotřeba nafty, ať již se jedná o samotnou dopravu odpadu na skládku, odvoz skládkových vod nebo technické práce na tělese. Dále pak můžeme pozorovat vliv spotřeby elektrické energie, její spotřeba se však mezi skládkami poměrně liší. Souhrnné výsledné hodnoty úbytku surovin jsou však téměř u všech pozorovaných skládek v záporných číslech, tzn., že se nejedná o škodlivý vliv, v důsledku výroby energií ze skládkového plynu.

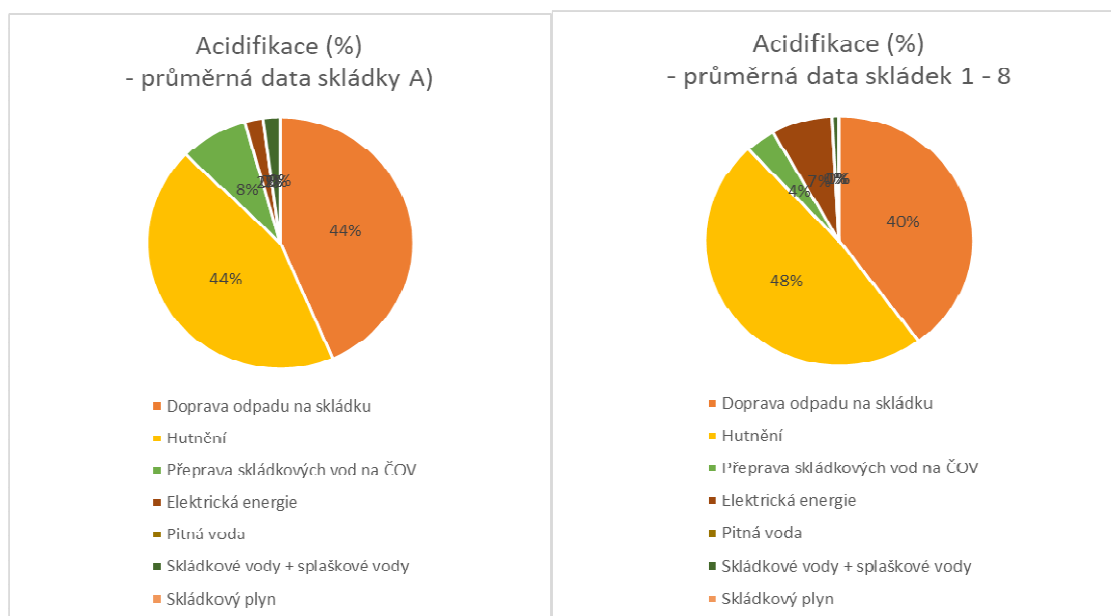


Obr. 5: Grafy zobrazující poměr negativních vlivů procesů na kategorii úbytku nerostných surovin z průměrných dat skládky A) a z průměrných dat všech 8mi skládek

Hodnoty všech pozorovaných skládek jsou podobné a ve výsledku nemají téměř žádný vliv.

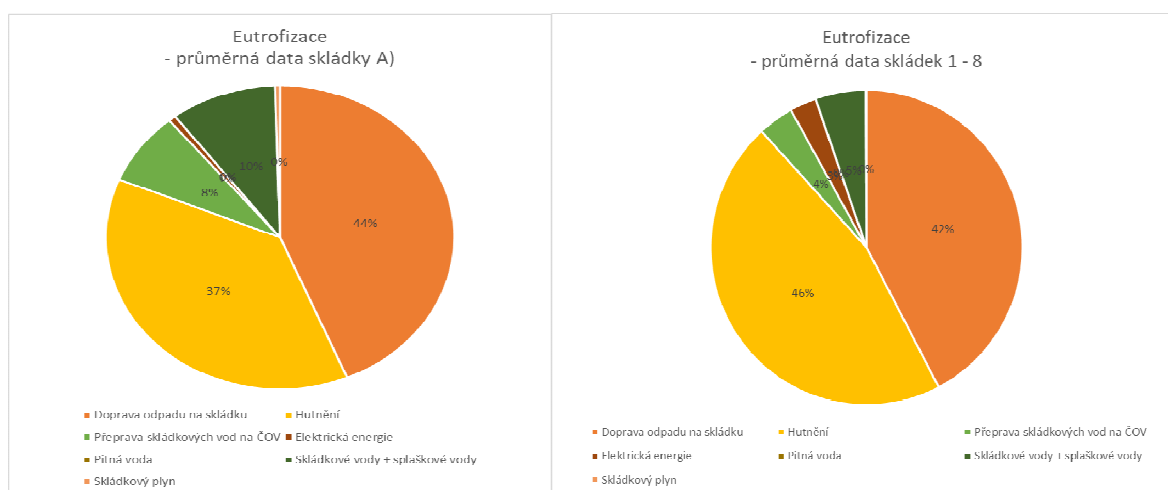
### Acidifikace (AP)

Kategorie tvořená znečištěním nejvýznamněji způsobeným dopravou. Opět se zde ale ve výsledku dostáváme díky výrobě energií ze skládkového plynu do příznivých účinků na prostředí. Z hlediska celkového vlivu na prostředí se nejedná o příliš významnou kategorii.



Obr. 6: Grafy zobrazující poměr negativních vlivů procesů na kategorii acidifikace z průměrných dat skládky A) a z průměrných dat všech 8mi skládek.

### Eutrofizace (EP)

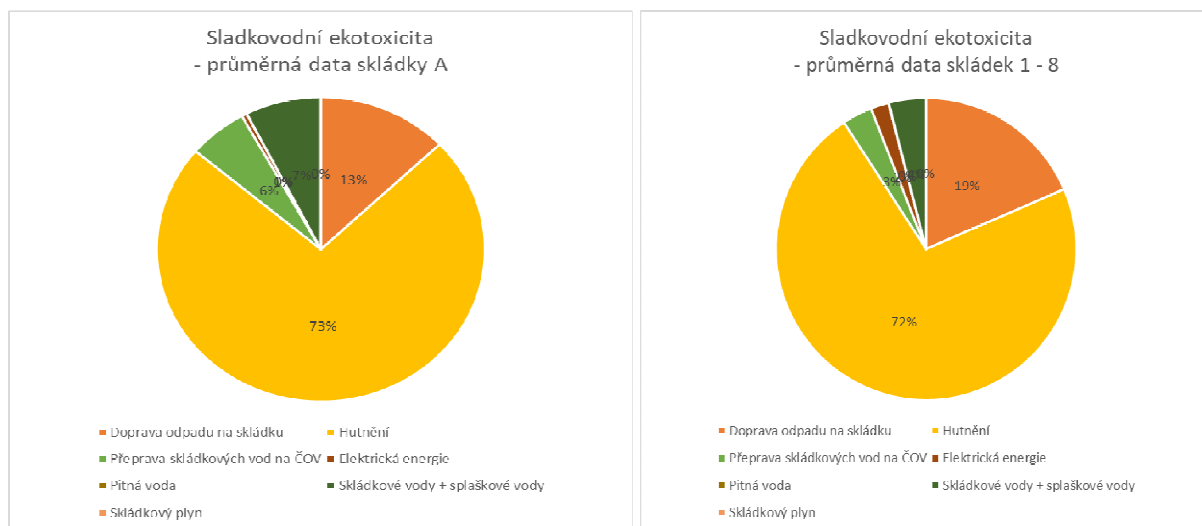


Obr. 7: Grafy eutrofizace

Vliv mají opět doprava a skládkové vody.

### Sladkovodní ekotoxita (FAETP)

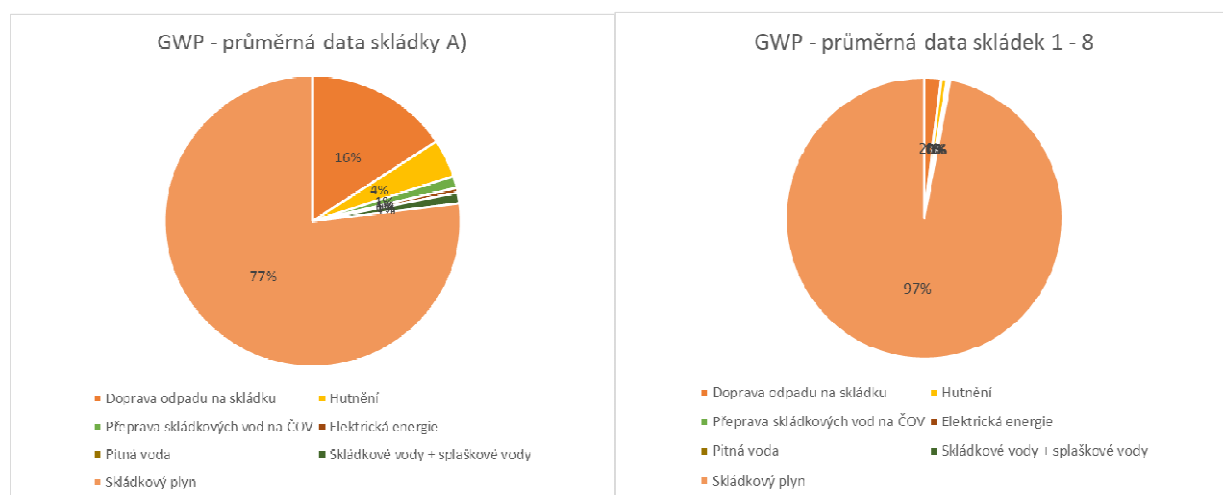
Tato kategorie je velice rozlišná. Nejvýznamnějšími znečišťovateli jsou skládkové vody a doprava (konkrétně hutnění). Někteří provozovatelé však tvrdí, že skládkové vody téměř neprodukují a většinu z nich rozstříkují zpět na těleso skládky.



Obr. 8: Grafy sladkovodní ekotoxicity

### Globální oteplování (GWP)

Jedná se o nejvýznamněji zasaženou kategorii. Na globální oteplování mají negativní vliv veškeré pozorované procesy, nejvíce předpokládaný skládkový plyn.



Obr. 9: Grafy globálního oteplování

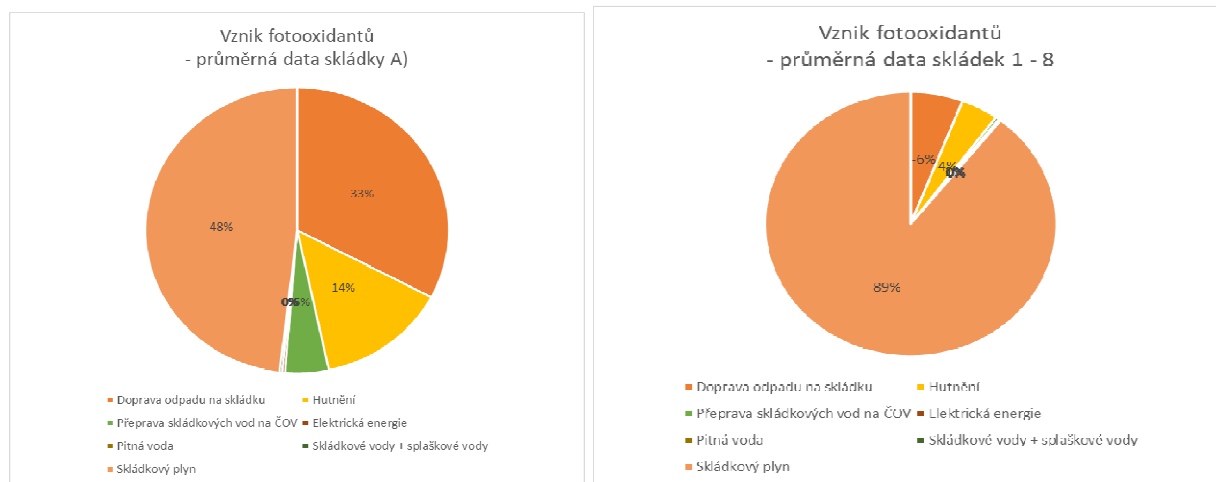
Udávaná produkce skládkového plynu dodavateli na jednotlivých tělesech je značně odlišná. Množství nezachyceného plynu, unikajícího do ovzduší bylo počítáno 20 % z celkového zachyceného množství.

### Úbytek stratosférického ozonu (ODP)

U všech procesů všech pozorovaných skládek vyšly velice nízké hodnoty a dopady na tuto kategorii jsou téměř nulové.

### Vznik fotooxidantů (POCP)

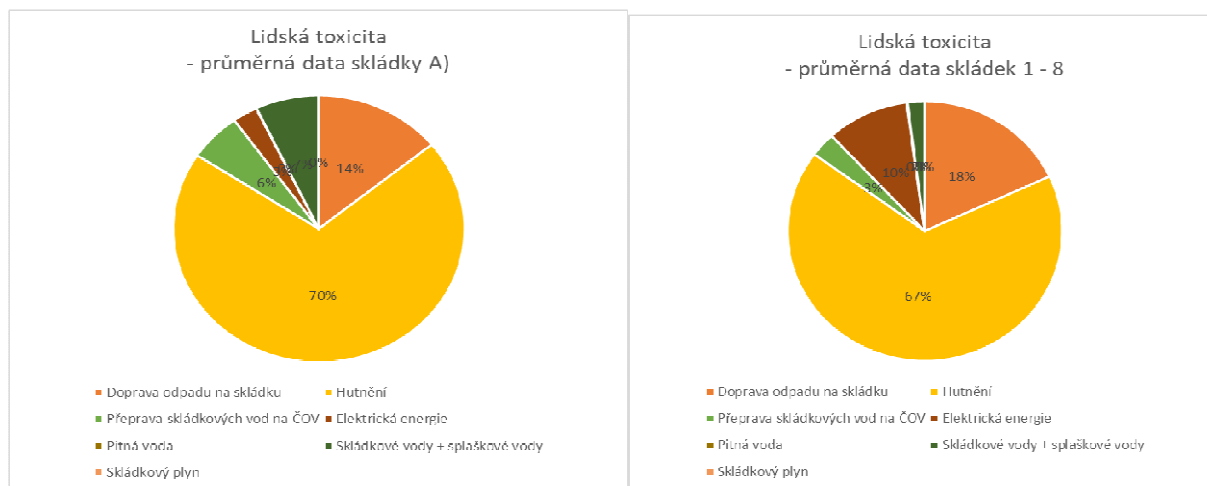
Hlavní vliv činí skládkový plyn, skládky se od sebe poměrně liší, důvodem budou různé udané hodnoty zachyceného plynu.



Obr. 10: Grafy vzniku fotooxidantů

### Humánní toxicita (HTP)

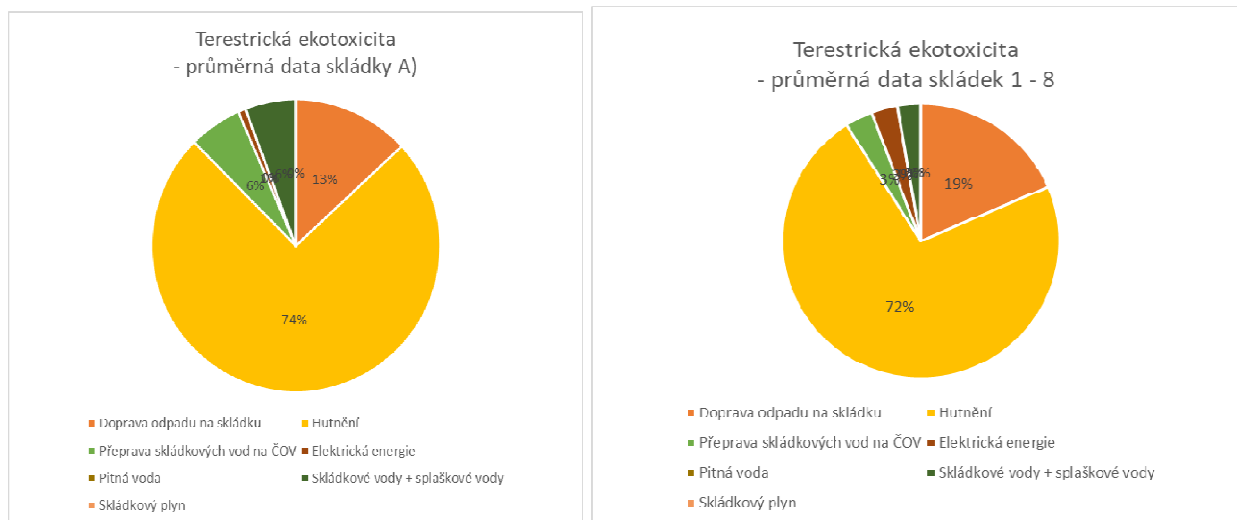
Opět poměrně proměnlivá, méně významná kategorie. Škodlivě působí skládkové vody, doprava, plyn i výroba elektrické energie. Díky využívání skládkového plynu pro energetické účely se ale hodnoty této kategorie dostávají do pozitivního vlivu.



Obr. 11: Grafy vlivu procesů na humánní toxicitu

### Terestrická ekotoxicita (MAETP)

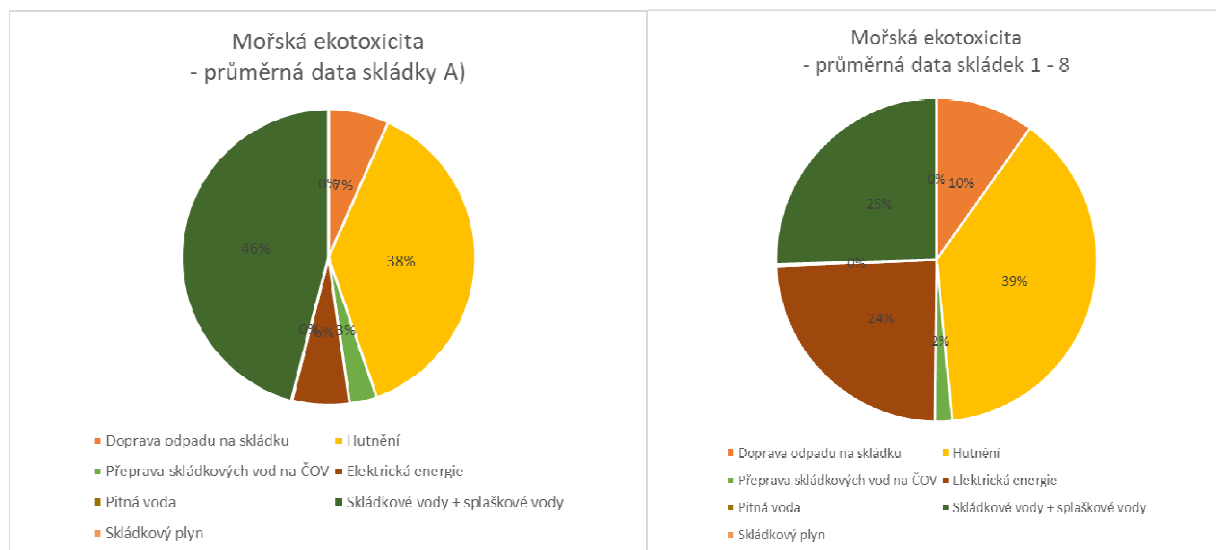
Negativní vliv způsobují veškeré sledované procesy, nejvýznamněji doprava, únik skládkového plynu, ale i výroba tepelné energie z plynu. Pozitivně působí pouze výroba elektrické energie.



Obr. 12: Grafy vlivu procesů na terestrickou ekotoxicitu

### Mořská ekotoxicita (TETP)

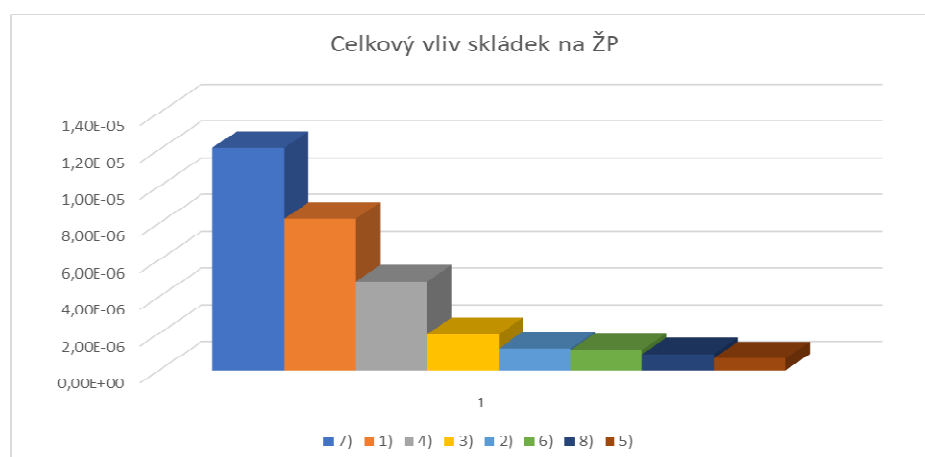
Zřejmě nejrozporuplnější kategorie, co se týká vlivu jednotlivých procesů. Na mořské ekosystémy má obrovský vliv doprava, odpadní vody i vstupující elektrická energie. Ve výsledcích však sklárky působí na kategorii spíše pozitivně, díky výrobě elektrické a tepelné energie ze skládkového plynu.



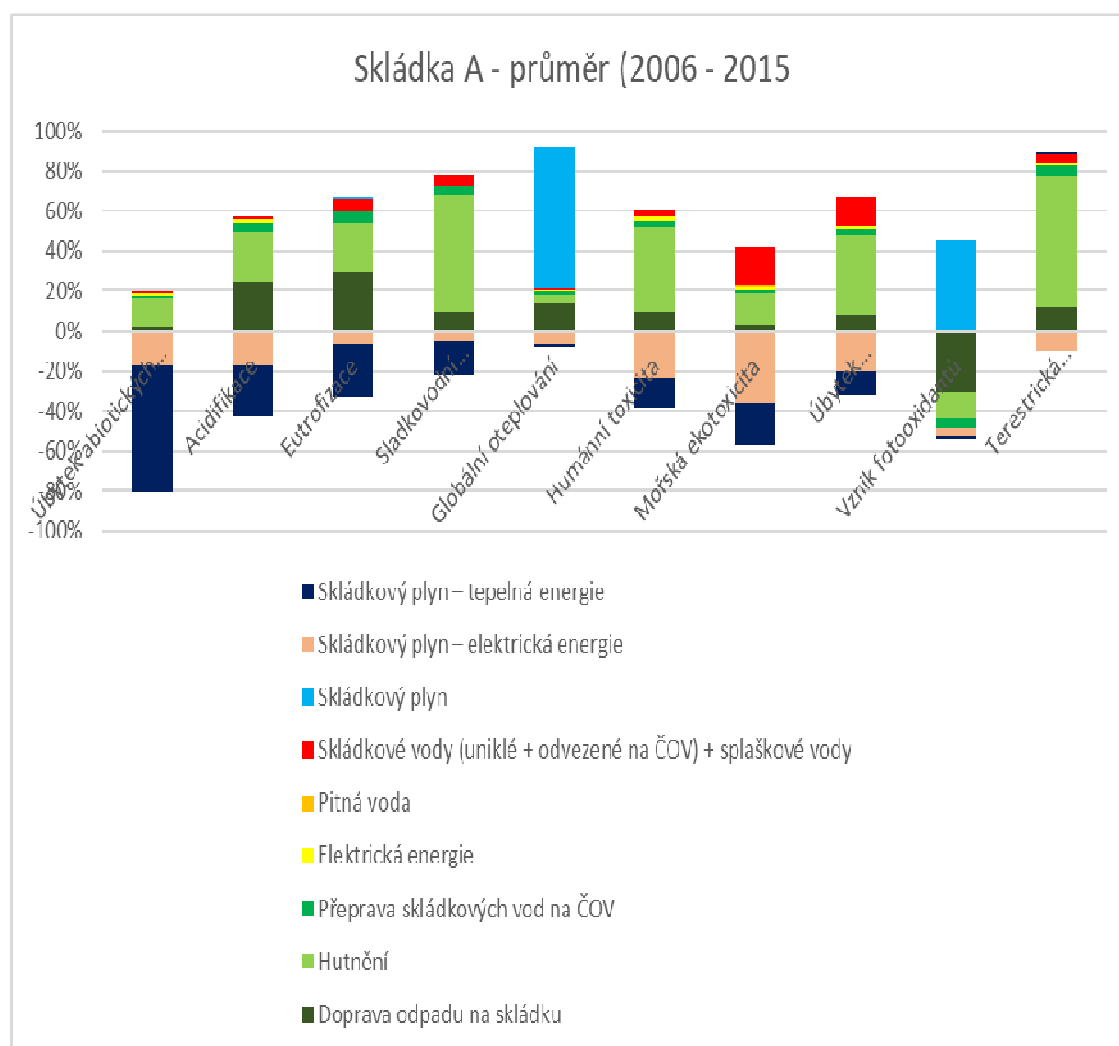
Obr. 13: Grafy vlivu procesů na mořskou ekotoxicitu



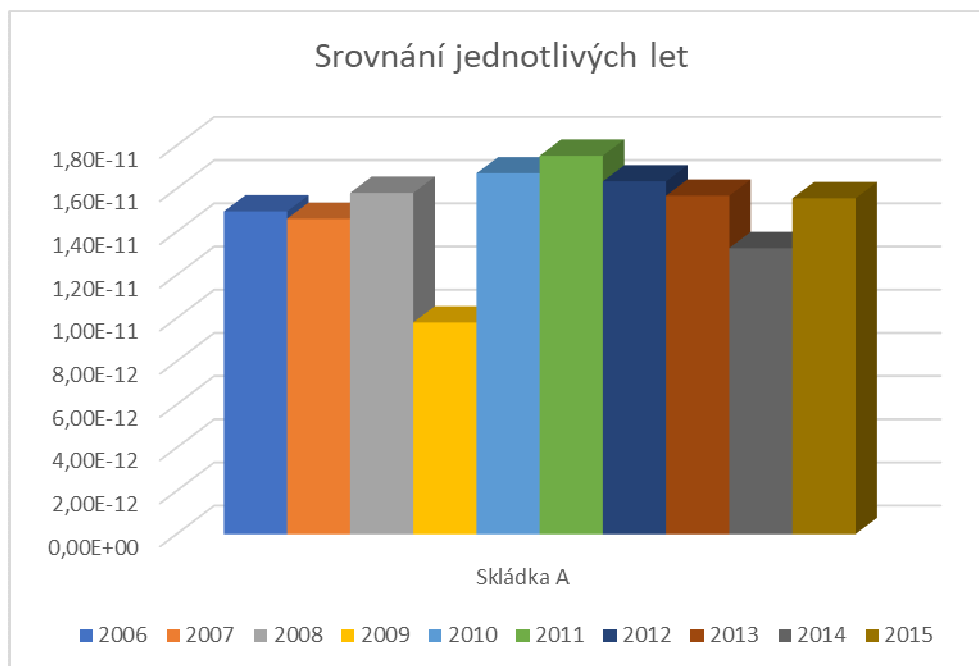
## Srovnání skládek



Obr. 14: Graf srovnání celkového vlivu pozorovaných skládek (1 – 8) na ŽP, uspořádaný dle velikosti.



Obr. 15: Graf zobrazující vliv jednotlivých procesů na kategorie dopadu u průměru skládky A)



Obr. 16: Graf srovnávající normalizovaná data jednotlivých sledovaných let skládky A)

## 8. Závěr:

Diplomová práce hodnotí dopad skládkování ostatní odpadů (především komunálních) na životní prostředí pomocí metody LCA. Byly namodelovány procesy skládkování, které jsou srovnatelné navzájem i s dalšími technologiemi nakládajícími s odpady.

Dle uvedených výsledků je zřejmé, že nejvyšší podíl na znečištění životního prostředí tvoří doprava, především hutnění a unikající skládkový plyn z tělesa. Významnou roli nám hraje výroba elektrické a tepelné energie, která se obrácenou inverzí vrací do systému a přináší nám „kladné vlivy“ na životní prostředí. Bohužel zrovna proces produkce skládkového plynu je velice rozlišný a jen těžko dokážeme zjistit, kolik nezachyceného plynu z tělesa reálně uniká. Množství vyrobených energií pak tedy velice závisí na kvalitě jímání plynu a výkonu kogenerační jednotky. Na druhou stranu tento pozitivní jev poněkud kazí unikající plyn, který je nejvýraznějším znečišťovatelem podnebí.

Problematickou kategorií je již zmíněná doprava, která měla poměrně překvapivé výsledky. Přeprava odpadů na skládku sice má významný podíl na znečištění životního prostředí, mnohem hůře ale dopadl proces hutnění, zahrnující dopravní práce pouze na tělese skládky (kompaktory, traktory, bagry...). První hypotéza tedy byla spíše vyvrácena, jelikož při celkovém pohledu (a součtu) má doprava vliv dokonce nejvýznamnější. Jedná se o proces, u kterého by bylo možné přistoupit k nějaké optimalizaci, snažit se snižovat spotřebu nafty a tím i celkový vliv skládky na životní prostředí.

Co se týká srovnání jednotlivých let skládky A), neobjevují se významné rozdíly. Roku 2014 bylo provozovatelem udané nejnížší množství skládkových vod odvezených na ČOV. Nejpriznivější rok 2009 měl nižší vstupní hodnoty nafty i odpadních vod. Rok 2011 naopak vyprodukoval nejvíce skládkových vod i množství zachyceného plynu bylo vyšší.

## Seznam použité literatury

- Altman V., Vaculík P, Mimra M (2010): Technika pro zpracování komunálního odpadu. ČZU v Praze. Praha, 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2.
- Balcar T. (2006): Atmosférický ozon a přírodní prostředí v souvislostech. Ústav fyziky atmosféry AV ČR. Str. 147 – 152. [online]. [cit. 2015-07-16]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/Upice2006/147.pdf>
- Balcar T. (2007): Ozonová vrstva Země – minulost, současnost a budoucnost. Ústav fyziky atmosféry AV ČR. Str. 55 – 57. [online]. [cit. 2017-08-10]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/upice2007/55.pdf>
- Balnar A. (2008): Příčiny a důsledky vlivu člověka na životní prostředí z fyzikálního hlediska. Wichterlovo Gymnázium, Ostrava–Poruba, příspěvková organizace. 56 str. EAN 978-80-87058-06-0.
- Bare J.C., et al. (2000):, Midpoints versus Endpoints: The Sacrifices and Benefits, Int. J.LCA 319-326. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1%C5%A1en%C3%AD-o-produktu-646>
- Biomass Technology (2009): Skládkový plyn: Využití skládkového plynu pro výrobu elektrické energie. [online]. [cit. 2014-07-12]. Dostupné z: [http://biomasstechnology.cz/wp/?page\\_id=239](http://biomasstechnology.cz/wp/?page_id=239)
- Boulay, A.; Bulle, C.; Bayart, J.; Deschênes, L.; Margni, M. (2011): Regional Characterization of Freshwater Use in LCA: Modeling Direct Impacts on Human Health. Environ. Sci. Technol. 2011, 45 (20), 8948–8957.
- Buyle, M., Braet, J., Audenaert, A. (2013): Life cycle assessment in the construction sector: a review.. Renewable and Sustainable Energy Reviews 26, 379-388.
- CeHO, Centrum pro hospodaření s odpady [online]. Praha: ÚV TGM, v.v.i. – CeHO, © 2009-2014. Poslední změna 04.10.2013. [vid. 2014-07-26]. Dostupné z: <http://www.ceho.cz/ceho-detail>
- CENIA, česká informační agentura životního prostředí. [online]. Praha, ©2012. [vid. 2017-08-10]. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/>
- CENIA (2013): Statistická ročenka životního prostředí ČR 2013. [online]: MŽP. Praha, 414 s. Dostupné z: [http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/Ro%C4%8Denka%20%C5%BDP%20%C4%8CR%202013\\_0.pdf](http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/Ro%C4%8Denka%20%C5%BDP%20%C4%8CR%202013_0.pdf)

- ČAOH, Česká asociace odpadového hospodářství: Stručný výtah zásadních bodů aktuálních pozměňovacích návrhů k novele zákona o odpadech [online]. [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/data/article/strucny-vytah-zasadnich-bodu-aktualnich-pozmenovacich-navrhu-ke-sbernam---web.pdf>
- ČCHMÚ (2013): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012. Český hydrometeorologický ústav, Praha 2013. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/obsah.html>
- European Commission: Directive 2008/98/EC on waste. [online]. [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm>
- EPA - United States Environmental Protection Agency: Municipal Solid Waste. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/index.htm>
- EPA Victoria (2012): Landfill gas. [online]. Carlton. [cit. 2017-07-14]. Dostupné z: <http://www.epa.vic.gov.au/~media/Publications/1479.pdf>
- Eurostat – newsrelease (2012): Environment in the EU27 - Landfill still accounted for nearly 40% of municipal waste treated in the EU27 in 2010. [online]. Eurostat Press Office, č. 48/2012, 3 s. Dostupné z: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/8-27032012-AP/EN/8-27032012-AP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-27032012-AP/EN/8-27032012-AP-EN.PDF)
- Eurostat – newsrelease (2013): Environment in the EU27 - In 2011, 40% of treated municipal waste was recycled or composted, up from 27% in 2001. [online]. Eurostat Press Office, č. 33/2013, 3 s. Dostupné z: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/8-04032013-BP/EN/8-04032013-BP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-04032013-BP/EN/8-04032013-BP-EN.PDF)
- Eurostat – newsrelease (2014): Environment in the EU28 - In 2012, 42% of treated municipal waste was recycled or composted. [online]. Eurostat Press Office, č. 48/2014, 3 s. Dostupné z: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/8-25032014-AP/EN/8-25032014-AP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-25032014-AP/EN/8-25032014-AP-EN.PDF)
- Filip J., Božek F., Kotovicová J. (2006): Komunální odpad a skládkování. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno, 128 s. ISBN 80-7157-712-X
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Suh, S., Koehler, A., Pennington, D. (2009): Recent developments in life cycle assessment.. Journal of environmental management 91, 1-21.
- Fries, J. (2007): Stroje pro zpracování odpadu. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Ostrava, 368 s. ISBN 978-80-248-1511-4
- GaBi: Metoda CML-IA. . [online]. [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: <http://www.gabi-software.com/international/support/gabi/gabi-lcia-documentation/cml-2001/>

- Guinée, J. B. (2002): Handbook on Life Cycle Assessment. Softcover, 708 s. ISBN 978-1-4020-0557-2.
- Hansen W., Christopher M., Verbuecheln M. (2002): EU Waste Policy and Challenges for Regional and Local Authorities. Ecologic, Institute for International and European Environmental Policy. [online]. Berlin, 19 s. Dostupné z: [http://www.arctic-transform.eu/files/projects/2013/1921-1922\\_background\\_paper\\_waste\\_en.PDF](http://www.arctic-transform.eu/files/projects/2013/1921-1922_background_paper_waste_en.PDF)
- Haug R.T. (1993): The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, Boca Raton. 752 s. ISBN: 0873713737.
- Hrabčák, M. (2013): Skládkový plyn – hrozba či úžitok? Odpady-poratl.sk, Odpadové hospodárstvo. [online]. Bratislava, 2013, č. 7 [cit. 2014-06-03]. ISSN 1338-1326. Dostupné z: <http://www.odpady-portal.sk/Dokument/101742/skladkovy-plyn-hrozba-ci-uzitok.aspx>
- Hoornweg D., Bhada-Tata P. (2012): What a Waste, A Global Review of Solid Waste Management. The World Bank, USA. 116 s.
- IPCC (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change; Washington, DC, USA.
- Janíčková B. (2012): Odpady a odpadové hospodárství. [online]. Chrudim. Střední zemědělská škola a Vyšší odborná škola Chrudim. 186 s. Dostupné z: <http://www.szes.chrudim.cz/soubory/esf/odpady.pdf>
- Kaufmann P. (2013): Česká republika potřebuje rychlou změnu odpadové legislativy. Odpady – odborný časopis pro nakládání s odpady a životním prostředím. Praha: Economia a.s., 2013, č. 3., str. 15-16. ISSN 1210-4922. MK ČR 6330.
- Kočí, V. (2009): Metoda posuzování životního cyklu a chemický průmysl. VŠCHT – Ústav chemie a ochrany prostředí. Praha, 5 s. Dostupné z: [http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_10\\_921-925.pdf](http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_10_921-925.pdf)
- Kočí, V. (2009): Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment – LCA. Vodní zdroje Ekomonitor, Chrudim. 263 s. ISBN 978-80-86832-42-5.
- Kočí, V. (2010): Příručka základních informací o posuzování životního cyklu. Praha: VŠCHT Praha, ETC Consulting, 2010.
- Kočí V. (2012): Na LCA založené srovnání environmentálních dopadů obnovitelných zdrojů energie. VŠCHT Praha, Praha, 109 s. Dostupné z: <http://www.restep.cz/upload/c60540763e3846bf0746c9991e5a996f/lca-studie.pdf>
- Kočí, V. a kol. (2012): LCA a EPD stavebních výrobků. Česká rada pro šetrné budovy, Praha. 175 s., ISBN 978-80-260-3504-6.

- LEE, Kanghee, Sungho TAE a Sungwoo SHIN (2009): Development of a Life Cycle Assessment Program for building (SUSB-LCA) in South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 8, s. 1994-2002. ISSN 13640321. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109000033>
- Levasseur, A.; Lesage, P.; Margni, M.; Deschênes, L.; Samson, R (2010): Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments. *Environ. Sci. Technol.* 44 s., 3169–3174.
- Mertl J., Slavíková P. - CENIA (2012): Zpráva o životním prostředí České republiky. Cenia, Praha. 117 - 133 s. ISBN 978-80-85087-17-8.
- Ministerstvo životního prostředí: Odpadové hospodářství. [online]. Praha, © 2008-2014. [vid. 2017-08-02]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/odpadove\\_hospodarstvi](http://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi)
- Ministerstvo životního prostředí (2012): Šestá hodnoticí zpráva o plnění nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky, za rok 2010. [online]. MŽP, Praha, 101 s. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni\\_narizeni\\_vlady/\\$FILE/OODP-Sesta\\_hodnotici\\_zprava\\_POH\\_CR\\_2010-120212.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf)
- Ministerstvo životního prostředí (2014): Plán odpadového hospodářství České republiky na období 2015 – 2024. [online]. Praha, verze k 2. 5. 2014. 176 s. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news\\_140506\\_Plan\\_odpady/\\$FILE/Plan\\_odpado\\_veho\\_hospodarstvi-060514.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_140506_Plan_odpady/$FILE/Plan_odpado_veho_hospodarstvi-060514.pdf)
- Monteiro, H.; Freire, F. (2012): Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. *Energy and Buildings*. [online]. [cit. 2014-07-28]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811006475>
- MŠMT: Life-cycle assessment (LCA) [online]. [cit. 2017-07-28]. Dostupné z: <http://vskp.vsb.cz/oblast-lca/>
- Rebitzer, G. a kol. (2004): Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International* 30, 701–720
- Recifa: Zpracování odpadů. [online]. [cit. 2017-06-16]. Dostupné z: <http://www.recifa.cz/zpracovani-odpadu-019/>
- Remtová, K.; Příbylová, M. (2001): Využití metody hodnocení životního cyklu výrobků (LCA) v České republice: Porovnání životních cyklů výrobku. MŽP ČR, Praha, 79 s.
- Remtová, K.; Tichá, M. (2001): Využití metody LCA v České republice: LCA příručka pro zpracovatele. MŽP ČR, Praha, 81s.

- Remtová, K. (2003): Posuzování životního cyklu: Metoda LCA. Ministerstvo životního prostředí, Praha. 15 s., ISBN 80-7212-232-0. Dostupné z:  
<http://www.registrpovinnosti.com/df23h54/zivotniprostredi/registrlegislative/metodalca.pdf>
- SAJDL, J.: Emisní norma EURO. [online]. [cit. 2017-06-13]. Dostupné z:  
<http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- Souček J.: Skládkový plyn - odpad, nebo zdroj energie? Biom. cz [online]. [cit. 2017-06-03].  
 Dostupné z: [http://stary.biom.cz/clen/jso/a\\_lfg.htm](http://stary.biom.cz/clen/jso/a_lfg.htm)
- Šec K. a kol. (2007): Studium faktorů ovlivňujících vznik a zánik troposférického ozonu. Chemické Listy 101, 1051–1057 (2007). Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007\\_12\\_1051-1057.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_12_1051-1057.pdf)
- Tae Hyoung Kim; Sung Ho Tae (2016): Proposal of Environmental Impact Assessment Method for Concrete in South Korea: An Application in LCA. [online]. [cit. 2017-07-28]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5129284/>
- Tomiková M.: Plány odpadového hospodářství a Realizační programy ČR. Biom.cz [online]. 2004-05-24 [cit. 2016-07-10]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plany-odpadoveho-hospodarstvi-a-realizacni-programy-cr>
- Ulbrichová I.: Ozón jako imisní činitel. [online]. [cit. 2015-07-16]. Dostupné z:  
[http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta\\_HIO/kapitoly/Skodliviny/Ozonuvod.htm](http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_HIO/kapitoly/Skodliviny/Ozonuvod.htm)
- Vrbová M. (2010): Co je to komunální odpad. Odpady – odborný časopis pro nakládání s odpady a životním prostředím. [online]. Praha: Economia a.s., Hospodářské Noviny IHNE, 2010, č.7. [cit. 2017-08-8]. ISSN 1213 – 7693. Dostupné z: <http://odpady.ihned.cz/c1-44628190-co-je-to-komunalni-odpad>

### **Legislativa:**

- Zákon č. 185/2001 Sb. ze dne 15. května 2001, o odpadech ve znění pozdějších předpisů  
 ČSN EN ISO 14040 (2006) Environmentální management - Posuzování životního cyklu -  
 Zásady a osnova. Český normalizační institut.
- ČSN EN ISO 14044 (2006) Environmentální management - Posuzování životního cyklu -  
 Požadavky a směrnice. Český normalizační institut.
- Směrnice č. 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008, o odpadech a rušící některé směrnice
- Směrnice č. 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999, o skládkách odpadů
- Směrnice č. 89/429/EHS, upravující spalování komunálních a nebezpečných odpadů.
- Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů
- Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na  
 povrchu terénu
- Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady



## Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Přehled kategorií dopadu metodiky CLM-IA	19
Tabulka č. 2: Přehled produkce odpadů v ČR v letech 2009 – 2015	24
Tabulka č. 3: Produkce komunálních odpadů v ČR a jejich vztah k celkové produkci odpadů v letech 2006 – 2015	24
Tabulka č. 4: Podíl využívání komunálních odpadů na celkové produkci KO v České republice, v letech 2005 – 2012	25
Tabulka č. 5: Podíl odstraněných KO z celkové produkce KO v ČR v letech 2009 – 2015	27
Tabulka č. 6: Místní a kapacitní přehled sledovaných skládek	29
Tabulka č. 7: Přehled výstavby a kapacit jednotlivých fází skládky A)	30
Tabulka č. 8: Přehled výkonu a účinnosti kogenerační jednotky instalované na skládce A). Zdroj: TEDOM a.s	36
Tabulka č. 9: Porovnání vlivu skládkování 1 t ostatního odpadu za kalendářní roky 2006 – 2015 skládky A) na jednotlivé kategorie dopadu (charakterizační model CML 2001- Apr. 2015)	38
Tabulka č. 10: Porovnání vlivu skládkování 1 t ostatního odpadu za kalendářní roky 2006 – 2015 skládky A) na jednotlivé kategorie dopadu (normalizační model pro Evropu, EU25+3)	39
Tabulka č. 11: Průměrná data skládkování 1 t ostatního odpadu za kalendářní roky 2006 – 2015 skládky A) na jednotlivé kategorie dopadu (charakterizační a normalizační model)	39
Tabulka č. 12: Vyhodnocení dopadů jednotlivých procesů z průměrných dat skládky A (2006 – 2015) na kategorie dopadu charakterizačního modelu CML 2001	40
Tabulka č. 13: Zobrazení procentuálního zastoupení dopadů jednotlivých procesů z průměrných dat skládky A (2006 – 2015) bez inverzní výroby energií (záporná čísla) na kategorie dopadu charakterizačního modelu CML 2001	41
Tabulka č. 14: Porovnání skládkování všech 8mi skládek na jednotlivé dopadové kategorie (normalizační model pro Evropu, EU25+3)	42
Tabulka č. 15: Procentuální zobrazení normalizovaných celkových dopadů skládek na ŽP	43

## Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Schéma produktového systému, vstupující a vystupující elementární toky do systému	10
Obrázek č. 2: Fáze analýzy LCA	11
Obrázek č. 3: Ukázka modelu skládky při procesu modelování v programu GaBi	33
Obrázek č. 4: Graf srovnání na které kategorie dopadů má skládkování největší vliv.	43
Obrázek č. 5: Grafy zobrazující poměr negativních vlivů procesů na kategorii úbytku nerostných surovin z průměrných dat skládky A a z průměrných dat všech 8mi skládek	44
Obrázek č. 6: Grafy zobrazující poměr negativních vlivů procesů na kategorii acidifikace	45
Obrázek č. 7: Grafy eutrofizace	45
Obrázek č. 8: Grafy sladkovodní ekotoxicity	46
Obrázek č. 9: Grafy globálního oteplování	46
Obrázek č. 10: Grafy vzniku fotooxidantů	47
Obrázek č. 11: Grafy vlivu procesů na humánní toxicitu	47
Obrázek č. 12: Grafy vlivu procesů na terestrickou ekotoxicitu	48
Obrázek č. 13: Grafy vlivu procesů na mořskou ekotoxicitu	48
Obrázek č. 14: Graf srovnání celkového vlivu pozorovaných skládek na ŽP, uspořádaný dle velikosti	49
Obrázek č. 15: Graf zobrazující vliv jednotlivých procesů na kategorie dopadu u průměru skládky A)	49
Obrázek č. 16: Graf srovnávající normalizovaná data jednotlivých sledovaných let skládky A)	50